



THESIS - MO142528

KONSEP INOVASI DESAIN *AQUACULTURE SYSTEM* UNTUK IKAN TUNA DI LAUT INDONESIA

Muhammad Rino Athoillah ST.
04111550012001

DOSEN PEMBIMBING:

Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc

Nur Syahroni ST. MT. Ph.D

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PERANCANGAN BANGUNAN LAUT
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER



THESIS - M0142528

**KONSEP INOVASI DESAIN *AQUACULTURE SYSTEM* UNTUK IKAN TUNA
DI LAUT INDONESIA**

Muhammad Rino Athoillah ST.

04111550012001

DOSEN PEMBIMBING:

Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc

Nur Syahroni ST. MT. Ph.D

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK PERANCANGAN BANGUNAN LAUT

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER

Surabaya, 2018



THESIS - M0142528

AQUACULTURE SYSTEM INNOVATION DESIGN CONCEPT FOR TUNA IN INDONESIAN SEA WATER

Muhammad Rino Athoillah ST.

04111550012001

Supervisor:

Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc

Nur Syahroni ST. MT. Ph.D

Master Degree Program

Offshore Stucture Engineering

Ocean Engineering Departmenet

Faculty Of Marine Technology

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER

Surabaya, 2018

LEMBAR PENGESAHAN

Thesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :


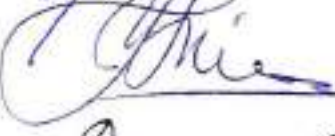
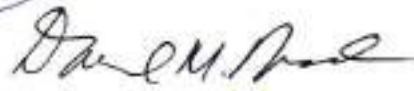


Muhammad Rino Atholillah

NRP. 04111550012001

Tanggal Ujian : 15 Januari 2018

Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh :

1. Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc (Pembimbing I)
NIP. 19731207 200112 1 001 
2. Nur Syahroni ST. MT. Ph.D (Pembimbing II)
NIP. 19730602 199903 1 002 
3. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. (Penguji I)
NIP. 19610702 198803 1 003 
4. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Penguji II)
NIP. 19710508 199703 1 001 
5. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D (Penguji III)
NIP. 19711105 199512 1 001 



Dekan Fakultas Teknologi Kelautan

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

NIP. 19610702 198803 1 003

DEDIKASI

Untuk kedua orang tua saya

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karuniannya Thesis yang berjudul “Konsep Inovasi Desain Aquaculture System Untuk Ikan Tuna Di Laut Indonesia” ini dapat selesai dengan baik. Tidak lupa juga shalawat serta salam saya curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Thesis ini yaitu:

1. Bapak Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing 1 atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Thesis ini.
2. Bapak Nur Syahroni ST. MT. Ph.D. Selaku Dosen Pembimbing 2 atas bimbingan dan motivasinya juga.
3. Bapak Dr.Eng. Rudi Walujo Prastianto, Selaku Kepala Departemen Teknik Kelautan, FTK - ITS
4. Dosen pengajar PascaSarjana Teknik Kelautan FTK – ITS
5. Irchamni Chabiburachman dan Lisdiana kedua orang tua saya.
6. Sitta Zulaikhah, Faridhatus Juhriyah, Nurma Demosayekti, M.B. Dipo. S
7. Nona Theresia
8. Yani, Fyan, Norman, Rahmat, Reza, Thesandra, Mega, Rikky, Devi, Sony, Dendi, Ita, teman kuliah di Pascasarjana ini.
9. Desta, Oliv, Erzad, Good, Ali, Ari, Lukman tim penghibur
10. Dan lain-lain yang tidak dapat disebut satu persatu

Penulis berusaha agar Thesis ini dapat diselesaikan sebaik mungkin namun kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan penulis. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 17 Desember 2017

Muhammad Rino Athoillah

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ix
GAMBAR.....	xv
TABEL	xxi
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Gambaran umum.....	1
1.2 Latar belakang.....	2
1.3 Rumusan masalah	5
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
1.6 Batasan masalah.....	6
1.7 Sistematika penulisan	6
BAB 2.....	9
TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Akuakultur Lepas Pantai.....	9
2.2 Keramba, Jaring dan Tambat	11
2.2.1 Keramba (<i>Cages</i>).....	11
2.2.2 Jaring (<i>Nets</i>).....	21
2.2.3 Tambat (<i>mooring</i>).....	21
2.3 Sistem Pakan.....	27
2.4 Kapal dan Peralatan	29
2.5 Peralatan Pengawasan Lingkungan.....	30
2.6 Karakteristik Lautan	30
2.7 Ikan Tuna Indonesia.....	31

2.8	Teori gelombang dan hukum Archimedes.....	33
2.8.1	Gelombang	33
2.8.2	Archimedes.....	35
2.9	Permodelan dalam Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>).....	37
2.10	Analisis kelelahan (<i>fatigue</i>) menggunakan pendekatan deterministik	40
2.11	Inovasi desain pada akuakultur	42
BAB 3.....		45
METODOLOGI PENELITIAN		45
3.1	Pendahuluan.....	45
3.2	Diagram alir	45
3.3	Langkah pengerjaan.....	47
3.3.1	Studi literatur.....	47
3.3.2	Pemilihan jenis keramba (<i>cage</i>)	47
3.3.3	Daerah Operasi	47
3.3.4	<i>Owner requirement</i> (untuk desain inovasi)	47
3.3.5	Permodelan geometri struktur	48
3.3.6	Analisis respon gerak	48
3.3.7	Analisis kekuatan fatik	48
BAB 4.....		49
DESAIN AKUAKULTUR LEPAS PANTAI.....		49
4.1	Desain Akuakultur di Indonesia	49
4.1.1	Volume Keramba	50
4.2	Permodelan Akuakultur dan Inovasi Desain	51
4.2.1	FarmOcean	51
4.2.2	SeaStation.....	52
4.2.3	Collar Cage.....	53

4.2.4	Ocean-FarmITS	54
4.3	Beban Lingkungan dan Kondisi Pembebanan	56
4.3.1	Gelombang Indonesia	56
4.3.2	Pembebanan Respon gerak	56
4.3.3	Kondisi batas untuk analisis kekuatan fatik dengan elemen hingga	59
4.4	Jenis Material	63
4.4.1	HDPE (High Density Poly Ethylene)	63
4.4.2	<i>Net Cage</i> (jaring)	67
4.5	Analisis Respon Gerak	68
4.5.1	Ocean-FarmITS	68
4.5.2	FarmOcean	75
4.5.3	SeaStation	82
4.5.4	Collar Cage	90
4.6	Analisis Kekuatan Fatik	97
4.6.1	<i>Ocean-FarmITS</i>	97
4.6.2	<i>FarmOcean</i>	103
4.6.3	<i>SeaStation</i>	106
4.6.4	<i>Collar Cage</i>	109
4.7	Ringkasan Teknis	112
4.7.1	Desain inovasi (Ocean-FarmITS)	112
4.7.2	Respon Gerak dan <i>Mooring Tension Force</i>	114
4.7.3	Analisis kekuatan fatik	118
BAB 5	119
KESIMPULAN DAN SARAN	119
5.1	Kesimpulan	119
5.2	Saran	120

DAFTAR PUSTAKA	121
LAMPIRAN	123

GAMBAR

Gambar 1-1 Grafik produksi perikanan tangkap di Indonesia tahun 2012-2016	2
Gambar 1-2 Grafik produksi perikanan budidaya di Indonesia tahun 2012-2016	3
Gambar 1-3 Grafik konsumsi ikan per kapita (kg/kapita/tahun)	4
Gambar 2-1 Produk Domestik Bruto tiap negara dari sektor kelautan dan perikanan.	9
Gambar 2-2 Potensi akuakultur lepas pantai Indonesia.....	10
Gambar 2-3 Sistem klasifikasi keramba berdasarkan jenis operasinya.....	12
Gambar 2-4 <i>Polyethylene tube frame</i> dengan diameter 500 mm	13
Gambar 2-5 <i>rubber tubing</i> untuk sistem <i>floating flexible cage system</i>	13
Gambar 2-6 <i>Rigid cage system</i> paling laris terjual (kiri), memiliki <i>feed storage</i> , <i>electricity generator</i> dan kabin kecil untuk pekerja (kanan)	14
Gambar 2-7 <i>Semi-submerged</i> pertama yang dibuat di Swedia oleh Farm Ocean	15
Gambar 2-8 <i>Seastation farm</i> dengan <i>mooring system</i> milik perusahaan Ocean Spar	15
Gambar 2-9 TLC (<i>Tension Leg Cage</i>) yang dapat berubah bentuk dan kedalamannya.....	16
Gambar 2-10 <i>Rigid frame</i> berbentuk seperti bola yang digunakan pada laut dalam.....	16
Gambar 2-11 Konfigurasi <i>Mooring</i> Jajaran Persegi.....	22
Gambar 2-12 Konfigurasi <i>Mooring</i> jajaran linear	23
Gambar 2-13 Konfigurasi <i>Mooring</i> 4 titik tambat.....	24
Gambar 2-14 Konfigurasi <i>Mooring</i> 1 titik tambat tiap keramba.....	24
Gambar 2-15 Konfigurasi <i>Mooring</i> 1 titik tambat posisi keramba berdekatan.....	25
Gambar 2-16 Penggunaan <i>Feeding canon</i> (kiri) dan <i>automatic feeder</i> (kanan).....	28
Gambar 2-17 <i>Feed barge</i> yang digunakan untuk memberi makan ikan dalam tambak.....	28
Gambar 2-18 Sistem pemberian makan pada tambak menggunakan <i>feed barge</i>	29
Gambar 2-19 <i>Working vessel</i> untuk peternakan ikan di tengah laut	30
Gambar 2-20 <i>Mooring</i> pada peternakan ikan di tengah laut	31

Gambar 2-21 Tuna yellow fin (1), tuna big eye (2), tuna albacore (3) dan tuna blue fin (4)	32
Gambar 2-22 Gelombang Sinusoidal	33
Gambar 2-23 Vektor dari <i>simple harmonic motion</i>	34
Gambar 2-24 Skema diskret / mesh pada model geometri yang kompleka	37
Gambar 2-25 Elemen garis (kiri), Elemen bidang (tengah), Elemen solid (kanan).	38
Gambar 2-26 Objek (kiri), Elemen (tengah), node (kanan).	38
Gambar 2-27 Elemen garis (1), Elemen bidang (2) dan Elemen solid (3).	38
Gambar 3-1. Diagram alir pengerjaan desain <i>aquaculture</i> untuk Indonesia	46
Gambar 4-1. Keramba jaring apung dan kolam bundar milik Indonesia	49
Gambar 4-2 Ilustrasi proses pembuatan akuakultur lepas pantai	50
Gambar 4-3 Isometric view model FarmOcean	52
Gambar 4-4 Front and top view FarmOcean	52
Gambar 4-5 Isometric view model SeaStation	53
Gambar 4-6 Front and top view SeaStation	53
Gambar 4-7 Isometric view model standard floating cage	54
Gambar 4-8 Front and top view standard floating cage	54
Gambar 4-9 Isometric view model Ocean-FarmITS	55
Gambar 4-10 Front and top view Ocean-FarmITS	55
Gambar 4-11 Significant wave height of combined wind waves and swell 2012-2017	56
Gambar 4-12 4 Buoy terpasang dengan koordinat simetris	58
Gambar 4-13 <i>Mooring</i> pada struktur <i>offshore aquaculture</i>	58
Gambar 4-14 Arah gelombang dan arus pada analisis respon gerak	59
Gambar 4-15 Tumpuan pada struktur akuakultur menggunakan elemen hingga	60
Gambar 4-16 Kondisi batas untuk SeaStation dengan gaya dan tumpuannya	61
Gambar 4-17 Kondisi batas analisa tegangan normal pada FarmOcean	61

Gambar 4-18 Kondisi batas pada struktur Collar Cage untuk analisis tegangan normal	62
Gambar 4-19 Meshing size in meter 0,01 (1) 0,05 (2) 0,1 (3) 0,2 (4) 0,5 (5)	62
Gambar 4-20. Mesh Sensitivity on stress analysis by using ANSYS static structural	63
Gambar 4-21 SN Curve HDPE based on experiment	66
Gambar 4-22 SN curve HDPE based on experiment menggunakan metode linear fitting .	66
Gambar 4-23 Jaring dengan ukuran mesh 31.75 mm.....	67
Gambar 4-24 Ilustrasi <i>mooring system</i> pada Ocean FarmITS.....	69
Gambar 4-25 Hydrodinamic and mooring analysis of Ocean-FarmITS	69
Gambar 4-26 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan surge	70
Gambar 4-27 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan sway.....	70
Gambar 4-28 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan heave.....	71
Gambar 4-29 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan roll.....	71
Gambar 4-30 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan pitch	72
Gambar 4-31 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan yaw	72
Gambar 4-32 RAO tertambat Ocean-FarmITS untuk gerakan translasi	73
Gambar 4-33 RAO tertambat Ocean-FarmITS untuk gerakan rotasi.....	73
Gambar 4-34 Spektrum gelombang dalam rentan periode gelombang 5 sampai 15 detik..	74
Gambar 4-35 Respon Spektra gelombang Ocean-FarmITS	74
Gambar 4-36 Offset pada struktur Ocean-FarmITS untuk 500 langkah waktu	75
Gambar 4-37 Mooring tension pada struktur Ocean-FarmITS	75
Gambar 4-38 Ilustrasi <i>mooring</i> untuk <i>farm ocean</i>	76
Gambar 4-39 Hydrodinamic and mooring analysis of farm ocean	76
Gambar 4-40 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan surge.....	77
Gambar 4-41 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan sway	77
Gambar 4-42 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan heave	78
Gambar 4-43 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan roll	78

Gambar 4-44 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan pitch	79
Gambar 4-45 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan yaw	79
Gambar 4-46 RAO tertambat untuk gerakan translasi pada struktur FarmOcean	80
Gambar 4-47 tertambat untuk gerakan rotasi pada struktur FarmOcean	80
Gambar 4-48 Respon Spektra gelombang gerakan translasi FarmOcean	81
Gambar 4-49 Respon Spektra gelombang gerakan rotasi FarmOcean	81
Gambar 4-50 Offset pada struktur FarmOcean untuk 100 langkah waktu	82
Gambar 4-51 Mooring Tension Farm Ocean Gelombang 4 m	82
Gambar 4-52 Ilustrasi <i>mooring</i> pada struktur <i>sea station</i>	83
Gambar 4-53 Hydrodynamic and mooring analysis of Sea Station	83
Gambar 4-54 RAO free floating SeaStation untuk gerakan surge	84
Gambar 4-55 RAO free floating SeaStation untuk gerakan sway	84
Gambar 4-56 RAO free floating SeaStation untuk gerakan heave	85
Gambar 4-57 RAO free floating SeaStation untuk gerakan roll	85
Gambar 4-58 RAO free floating SeaStation untuk gerakan pitch.....	86
Gambar 4-59 RAO free floating SeaStation untuk gerakan yaw	86
Gambar 4-60 RAO tertambat gerakan translasi untuk stuktur SeaStation.....	87
Gambar 4-61 RAO tertambat untuk gerakan rotasi struktur SeaStation	87
Gambar 4-62 Respon Spektra gelombang gerakan translasi SeaStation.....	88
Gambar 4-63 Respon Spektra gelombang gerakan rotasi SeaStation	88
Gambar 4-64 Offset pada struktur SeaStation untuk 100 langkah waktu	89
Gambar 4-65 Mooring tension dan Offset struktur Sea Staiton gelombang 4 m.....	89
Gambar 4-66 Ilustrasi <i>mooring</i> pada <i>collar cage</i>	90
Gambar 4-67 Hydrodynamic and mooring analysis of collar cage.....	90
Gambar 4-68 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan surge	91
Gambar 4-69 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan sway	91

Gambar 4-70 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan heave.....	92
Gambar 4-71 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan roll	92
Gambar 4-72 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan pitch	93
Gambar 4-73 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan yaw	93
Gambar 4-74 RAO tertambat gerakan translasi struktur Collar Cage.....	94
Gambar 4-75 RAO tertambat gerakan rotasi stuktur Collar Cage.....	94
Gambar 4-76 Respon Spektra gelombang gerakan translasi Collar Cage.....	95
Gambar 4-77 Respon Spektra gelombang gerakan rotasi Collar Cage	95
Gambar 4-78 Offset pada struktur Collar Cage untuk 100 langkah waktu	96
Gambar 4-79 Mooring tension daro struktur Collar Cage.....	96
Gambar 4-80 5 sambungan yang di analisis pada Ocean-FarmITS.	97
Gambar 4-81 Tegangan nominal pada tiap joint struktu Ocean-FarmITS	98
Gambar 4-82 Pemberian bracket untuk mengurangi tegangan yang ada	99
Gambar 4-83 Tegangan nominal pada joint-B setelah diberi penguatan	99
Gambar 4-84 Stress range history sambungan A Ocean-FarmITS	101
Gambar 4-85 Stress range history sambungan B Ocean-FarmITS	101
Gambar 4-86 Stress range history sambungan C Ocean-FarmITS	102
Gambar 4-87 Stress range history sambungan D Ocean-FarmITS	102
Gambar 4-88 Stress range history sambungan E Ocean-FarmITS.....	103
Gambar 4-89 Sambungan yang ditinjau pada sturktur FarmOcean	103
Gambar 4-90 Tegangan nominal pada struktur Farm Ocean	104
Gambar 4-91 Stress range history sambungan A FarmOcean.....	105
Gambar 4-92 Stress range history sambungan B FarmOcean.....	106
Gambar 4-93 Stress range history sambungan C FarmOcean.....	106
Gambar 4-94 Sambungan yang dianalisis pada struktur SeaStation	107
Gambar 4-95 Tegangan nominal pada struktur Sea Station	107

Gambar 4-96 Stress range history sambungan A SeaStation	108
Gambar 4-97 Stress range history sambungan B SeaStation	109
Gambar 4-98 Sambungan yang dianalisis pada struktur Collar Cage.....	109
Gambar 4-99 Besar tegangan nominal yang terjadi pada struktur Collar Cage.....	110
Gambar 4-100 Stress range history sambungan A Collar Cage.....	111
Gambar 4-101 Stress range history sambungan B Collar Cage	112
Gambar 4-102 Stress range history sambungan C Collar Cage	112
Gambar 4-103 General Arrangement dari Ocean-FarmITS.....	113
Gambar 4-104 Detail drawing bracket, ladder and HDPE tubular	113
Gambar 4-105 Mooring layout Ocean-FarmITS.....	114
Gambar 4-106 Perbandingan nilai respon gerakan surge untuk semua struktur akuakultur	115
Gambar 4-107 Perbandingan nilai respon gerakan sway untuk semua struktur akuakultur	115
Gambar 4-108 Perbandingan nilai respon gerakan heave untuk semua struktur akuakultur	116
Gambar 4-109 Perbandingan nilai respon gerakan roll untuk semua struktur akuakultur	116
Gambar 4-110 Perbandingan nilai respon gerakan pitch untuk semua struktur akuakultur	117
Gambar 4-111 Perbandingan nilai respon gerakan sway untuk semua struktur akuakultur	117
Gambar 4-112 Nilai tegangan tali pada masing masing struktur akuakultur.....	118

TABEL

Tabel 2-1 Jenis keramba yang ada saat ini	11
Tabel 2-2 Kelebihan dan kekurangan dari <i>floating cage system (rubber hose)</i>	17
Tabel 2-3 Komparasi keuntungan dari <i>Floating Flexible cage (Ocean Spar net pen system)</i>	17
Tabel 2-4 Kelebihan dan kekurangan dari <i>floating rigid cages</i>	18
Tabel 2-5 Kelebihan dan kekurangan dari <i>semisubmersible cage system (Refa tension leg cage)</i>	18
Tabel 2-6 Komparasi <i>Semisubmersible cage system (FarmOcean & Seastation)</i>	19
Tabel 2-7 Keuntungan dan kerugian dari <i>Submersible cage system</i>	19
Tabel 2-8 Penjelasan singkat tentang cage <i>aquaculture</i>	20
Tabel 2-9 Contoh perhitungan <i>fatigue</i> menggunakan metode <i>deterministic</i>	42
Tabel 4-1 Karakteristik variasi volume <i>offshore aquaculture</i>	51
Tabel 4-2 Sebaran data gelombang di laut Indonesia	56
Tabel 4-3 <i>Buoy and anchor fixed point coordinates.</i>	57
Tabel 4-4 Sifat Mekanis <i>High Density Poly Ethylene</i>	64
Tabel 4-5 Spesifikasi teknis pipa HDPE Indonesia	65
Tabel 4-6 Perbandingan 3 metode yang dipakai untuk HDPE	67
Tabel 4-7 Connection point for mooring in each structure	68
Tabel 4-8 Gaya tarik yang diberikan serta tegangan nominal yang dihasilkan (atas-desain asli dan bawah-desain penambahan bracket)	100
Tabel 4-9 Umur kelelahan struktur Ocean-FarmITS (atas-asli dan bawah-diberi bracket pada joint B untuk menambah kekuatan serta mengurangi tegangan)	100
Tabel 4-10 Besar gaya tarik dan tegangan yang terjadi pada tiap sambungan FarmOcean	104
Tabel 4-11 Umur kelelahan struktur pada FarmOcean	104
Tabel 4-12 Besaran gaya tali dan tegangan yang dihasilkan pada struktur SeaStation	108

Tabel 4-13 Umur kelelahan struktur SeaStation	108
Tabel 4-14 Gaya tegangan tali dan besar tegangan pada struktur Collar Cage.....	110
Tabel 4-15 Umur kelelahan struktur pada Collar Cage.....	111
Tabel 4-16 Ukuran struktur akuakultur untuk keempat model	112

KONSEP INOVASI DESAIN *AQUACULTURE SYSTEM* UNTUK IKAN TUNA DI LAUT INDONESIA

Nama Mahasiswa : Muhammad Rino Athoillah

NRP : 04111550012001

Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc

Nur Syahroni ST. MT. Ph.D

ABSTRAK

Perkembangan teknologi akuakultur saat ini yang ada diseluruh dunia disebabkan karena meningkatnya populasi yang menyebabkan naiknya permintaan akan ikan sebagai sumber pangan. Menurut FAO (*Food Agriculture Organization*), peningkatan konsumsi akan ikan sangat tinggi tiap tahunnya dan Indonesia merupakan salah satu negara dengan populasi dengan jumlah sangat banyak. Ini berarti bahwa indonesia harus dapat meningkatkan kapasitas produksi ikan bukan hanya dari menangkap ikan di laut akan tetapi juga menggunakan sistem akuakultur lepas pantai. Tujuan utama desain keramba terbaru untuk akuakultur lepas pantai adalah menghasilkan desain yang sederhana dengan fungsi sistem yang baik serta spesifikasi yang dapat diimplementasikan skala industri. Desain terbaru ini akan ditetapkan sebagai standard desain keramba yang dapat dioperasikan di laut indonesia dengan kapaistas volume kerambanya sekitar 6000 m^3 dan ide dari desain inovasi ini didapatkan dengan melihat desain yang telah ada sebelumnya lalu dilihat kekurangan dan kelebihanannya baik untuk sistem pemberian makan, saat berternak, pemberain jaring, perawakan dan fungsi lainnya. HDPE (*High Density Poly Ethylene*) akan digunakan sebagai bahan material untuk keramba yang memiliki masa jenis 0.96 ton/m^3). Gambar Rencana Umum, gambar detil, gambar 3 dimensi akan ditunjukan pada proses desain ini serta untuk respon gerak dan kelelahan strukturnya akan dianalisis pada struktur keramba tersebut.

Kata kunci : Akuakultur, desain keramba, Indonesi, HDPE

AQUACULTURE SYSTEM INNOVATION DESIGN CONCEPT FOR TUNA IN INDONESIAN SEA WATER

Name : Muhammad Rino Athoillah
Student Number : 04111550012001
Supervisor : Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc
Nur Syahroni ST. MT. Ph.D

ABSTRACT

Present offshore aquaculture technology all around the world are to address the increasing population which affect a demand for fish as a food. According to FAO (Food Agriculture Organization), the consumption of fish are highly increased each year and Indonesia is one of the country which has highest population. It means that Indonesia have to increase their production of fish not by fishing but actually by using offshore aquaculture system. The new offshore aquaculture cage design main objective is to achieve a simple design with quite good function and specification to be implemented on industry. A new design will be considered as the standard cage which can operated in Indonesia sea water with volume of the cage is approximately 6000 m^3 and the design innovation inspired by existing design that we combine so that new design will have a complete system for feeding, harvesting, net cleaning, manning and the other things. HDPE (High Density Poly Ethylene) will be used for cages design material (density = 0.96 ton/m^3). General Arrangement, detail drawing, 3D modelling will be shown in the design process and an analysis for Response Amplitude Operator (RAO) and it fatigue strength will be carried out to the structure.

Keyword : Aquaculture, cage design, Indonesia, HDPE

BAB 1.

PENDAHULUAN

1.1 Gambaran umum

Sumber daya perikanan adalah sumber daya alam terbanyak yang dimiliki oleh manusia. luas perairan Indonesia adalah sebesar 3.257.482 km² dan wilayah daratnya hanya 1.992.470 km².¹ Dengan luas perairan tersebut, Indonesia dapat dikatakan mampu menunjang kehidupan kesejahteraan masyarakatnya apabila dikelola dengan baik karena Indonesia dikenal sebagai negara maritim dan negara kepulauan terbesar.

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki daerah-daerah yang merupakan pusat perikanan di laut seperti di Kepulauan Riau, Jawa Tengah, Banyuwangi, Sulawesi dan lainnya.² Produksi perikanan tangkap Indonesia dari tahun ke tahun mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan karena dalam menangkap ikan ditengah laut nelayan tradisional biasanya hanya mengandalkan peralatan sederhana berupa perahu layar, pancing, jala dan jaring sehingga hasil tangkapannya hanya sedikit. Namun untuk budidaya ikan di laut volume yang dihasilkan lebih banyak tiap tahunnya dibandingkan dengan produksi ikan tangkap.

Faktanya kebutuhan akan ikan di Indonesia semakin meningkat namun potensi perikanan di laut Indonesia belum dapat dimaksimalkan melalui penangkapan ikan di tengah laut, maka perlu adanya pengembangan teknologi untuk budidaya ikan di laut dimana akuakultur atau peternakan ikan di tengah laut merupakan solusi untuk peningkatan produksi ikan dimana untuk saat ini di negara-negara maju telah mengaplikasikan budidaya ikan secara maksimal.

Indonesia perlu mengembangkan budidaya ikan di tengah laut yang selama ini keramba yang ada tidak jauh dari garis pantai, inovasi pada struktur yang telah ada perlu dibuat agar keramba tersebut dapat dioperasikan ditengah laut namun harus memperhatikan beban lingkungan yang ada dimana gelombang tengah laut yang cukup besar. Inovasi ini akan menjadi titik awal bagi Indonesia untuk dapat memproduksi ikan dari hasil budidaya di laut namun menggunakan struktur buatan anak bangsa dan cocok untuk di perairan Indonesia.

¹ Badan Informasi Geospasial, "Atlas Nasional Indonesia."

² Marhaeni Ria Siombo, *Hukum Perikanan Nasional Dan Internasional*.

1.2 Latar belakang

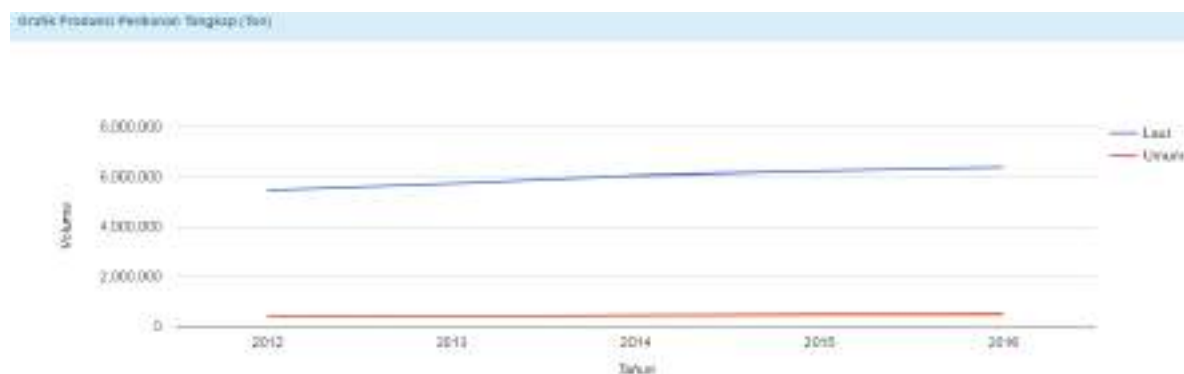
Antara tahun 1970 dan 2001, persediaan akan ikan di dunia menjadi dua kali lipat dari sekitar 65 juta ton menjadi 130 juta ton. Ini diakibatkan kenaikan permintaan akan ikan sangat tinggi dan tren kenaikan tersebut diakibatkan karena 2 hal yaitu³:

1. Kenaikan jumlah populasi di seluruh dunia
2. Kenaikan konsumsi per-kapita

Tahun 1979 sampai tahun 1999, jumlah populasi meningkat dari 4.4 miliar orang menjadi 5.9 miliar orang dan diperkirakan pada tahun 2039 akan menjadi 8.2 miliar orang di dunia. Sedangkan untuk konsumsi ikan per-kapita pada tahun 2012 adalah 16 kg dan diperkirakan pada tahun 2030 akan menjadi 19-22 kg. Kenaikan konsumsi per-kapita ini juga disebabkan karena 2 hal yaitu:

- a. Kesehatan: ikan merupakan opsi pakan yang menyehatkan dan riset telah membuktikan bahwa ikan baik untuk otak dan juga kesehatan.
- b. Persediaan: meningkatnya tingkat produksi ikan akibat kemajuan teknologi.

Di Indonesia sendiri produksi perikanan tangkap ikan laut tidak mengalami kenaikan yang berarti tiap tahunnya. Produksi ikan tangkapnya dapat dilihat pada Gambar 1-1.



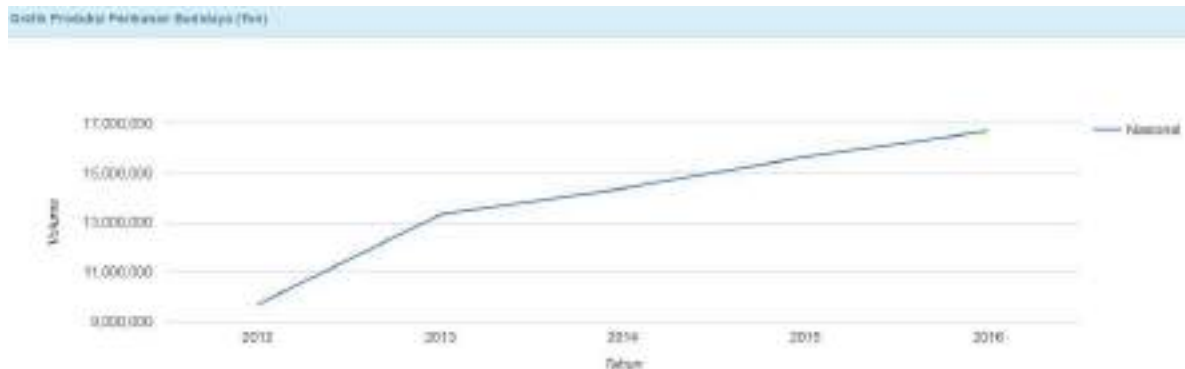
Gambar 1-1 Grafik produksi perikanan tangkap di Indonesia tahun 2012-2016

(Sumber : <http://statistik.kkp.go.id/sidatik-dev/2.php?x=2>)

Kurangnya teknologi yang memadai karena masih sederhananya cara nelayan di Indonesia ini menyebabkan produksi ikan tangkap tersebut tidak dapat dimaksimalkan atau ditambah secara signifikan. Sedangkan untuk budidaya ikan laut juga merupakan salah satu cara

³ James Ryan, *Farming The Deep Blue*.

produksi ikan laut selain penangkapan langsung, untuk produksi perikanan budidaya ikan dari tahun 2012-2016 di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1-2.



Gambar 1-2 Grafik produksi perikanan budidaya di Indonesia tahun 2012-2016

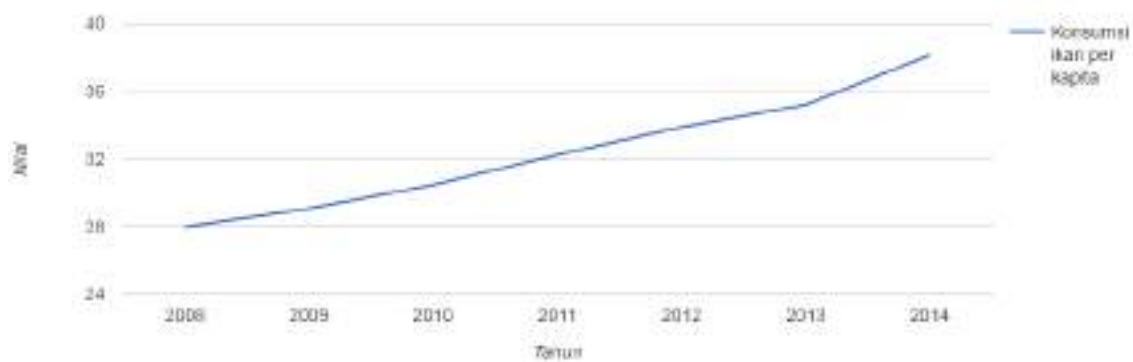
(Sumber : <http://statistik.kkp.go.id/sidatik-dev2.php?x=3>)

Potensi produksi ikan laut dapat ditingkatkan dengan cara berternak ikan di tengah laut menggunakan teknologi yang ada dimana semua kegiatan ternak ikan mulai dari bibit ikan kecil, ikan dewasa sampai ikan tersebut siap untuk dipanen. Budidaya ikan tersebut perlu diawasi tiap hari karena perawatan serta pemberian makan yang teratur dan juga pengawasan ikan didalam laut tidak semudah tambak ikan yang ada didarat, selain akibat faktor lingkungan laut yang ganas akan tetapi faktor kesulitan yang dihadapi dalam melakukan budidaya ikan laut. Faktor gelombang, cuaca, kedalaman serta teknologi yang ada merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam *offshore aquaculture* ini.

Budidaya ikan bisa menjadi solusi untuk permintaan akan ikan yang terus menaik terutama di Indonesia, hal ini dapat dilihat dari konsumsi ikan per kapita keluarga yang mengalami kenaikan dari tahun ke tahun karena meningkatnya jumlah populasi yang ada di Indonesia serta kesadaran masyarakat kita akan pentingnya konsumsi ikan sebagai sumber protein yang baik untuk kesehatan keluarganya.

Peningkatan konsumsi ikan per kapita keluarga di Indonesia 7 tahun terakhir ini yaitu dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2014⁴ dapat dilihat pada Gambar 1-3.

⁴ Ministry of Marine Affairs and Fisheries Republic of Indonesia, "KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN REPUBLIK INDONESIA."



Gambar 1-3 Grafik konsumsi ikan per kapita (kg/kapita/tahun) ⁵

(Sumber : <http://statistik.kkp.go.id>)

Melihat dari tren kebutuhan akan permintaan ikan dan hasil laut lainnya di Indonesia namun tidak meningkatnya produksi ikan tangkap, maka *offshore aquaculture* yang merupakan teknologi dalam berternak ikan menggunakan keramba yang kuat dalam kondisi lautan yang ganas⁶ merupakan sebuah solusi dalam memenuhi permintaan ikan serta peningkatan produksi ikan dalam skala nasional.

Permintaan pasar Indonesia untuk produk ikan dan hasil lautnya terus berkembang dan ini merupakan kesempatan untuk melakukan produksi ikan menggunakan cara akuakultur dalam memproduksi seperti ikan, alga dan krustasea⁷, Indonesia belum memiliki sistem akuakultur yang dapat membudidayakan ikan dilaut dalam karena selama ini hanya disekitar bibir pantai dan struktur yang digunakan masih sangat kecil dan sederhana. Pengembangan desain inovasi dalam bidang akuakultur perlu dilakukan karena diluar negeri sudah terdapat beberapa jenis struktur akuakultur seperti *Seastation*, *Farmocean* dan *Collar Cage*. Untuk itu inovasi akuakultur sistem yang sesuai dengan kondisi perairan Indonesia perlu dikembangkan secara serius guna meningkatkan produksi ikan melalui budidaya di laut. .

⁵ Kementerian Kelautan dan Perikanan, “Tingkat konsumsi ikan di Indonesia.”

⁶ Jouni Vielma and Markus Kankainen, “Offshore Fish Farming Technology in Baltic Sea Production Conditions.”

⁷ Helga Gunnlaugsdottir, Sophie Jensen, and Gunnar Pordarson, “Offshore Aquaculture: Development, Building and Testing of a Deep Water Mooring System.”

1.3 Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam studi ini adalah:

1. Bagaimanakah konsep desain dan konfigurasi struktur model *Seastation*, *Farmocean*, *Collar cage* dan pengembangan model inovasi hasil modifikasi untuk perairan laut dalam yang cocok untuk perairan Indonesia?
2. Bagaimanakah respon gerak dari struktur *Seastation*, *Farmocean*, *Collar cage* dan model inovasi hasil dari modifikasi?
3. Bagaimanakah kekuatan lelah (*fatigue strength*) dari struktur *Seastation*, *Farmocean*, *Collar cage* dan model inovasi?

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat konsep desain dan konfigurasi struktur model *SeaStation*, *Farmocean*, *floating cage* dan mengembangkan model inovasi hasil modifikasi untuk perairan laut dalam di Indonesia.
2. Melakukan analisis respon gerak dari struktur *SeaStation*, *Farmocean*, *floating cage* dan model inovasi hasil modifikasi.
3. Melakukan analisis kekuatan lelah (*fatigue strength*) dari struktur *SeaStation*, *Farmocean*, *floating cage* dan model inovasi hasil modifikasi.

1.5 Manfaat

Dari Tesis ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

- a. Secara akademik sebagai penunjang ilmu teknologi yang sudah ada sebelumnya.
- b. Sebagai suatu rekomendasi konsep desain inovasi struktur untuk beternak ikan tuna di Indonesia yang merupakan peluang ekonomi cukup besar.

1.6 Batasan masalah

- Ikan yang akan dibudidayakan dalam akuakultur adalah ikan tuna besar.
- Lokasi akuakultur berada di perairan Indonesia.
- Analisa gerakan meliputi enam derajat kebebasan.
- Beban lingkungan yang digunakan dalam pembebanan hanya beban dari gelombang serta arus laut.
- Jangkar tidak dimodelkan.
- Beban *impact* pada struktur akibat pergerakan ikan diabaikan.
- Jangkar dianggap tertancap atau dalam keadaan *fixed*.
- Jaring tidak dimodelkan pada analisis respon gerak namun hanya dimasukkan beratnya dan *drag* pada jaring diabaikan.
- Inovasi desain yang baru tidak harus lebih baik dari segala aspek apabila dibandingkan dengan desain yang sudah ada.
- Desain yang dibuat masih dalam tahap *concept design*.

1.7 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan laporan tesis ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah serta batasan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tesis ini, manfaat yang diperoleh, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari tesis. Dasar-dasar teori dan informasi apa saja yang dipakai, serta persamaan-persamaan apa saja yang digunakan dalam penelitian tesis tercantum dalam bab ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan metodologi dalam menyelesaikan permasalahan secara berurutan dimulai dari tahap pengumpulan data dan studi literatur, hingga pengolahan data untuk analisis lebih lanjut yang nantinya akan menghasilkan sebuah kesimpulan guna menjawab perumusan masalah yang sudah ada sebelumnya.

BAB IV. ISI

Bab ini merupakan inti dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini akan dibahas mengenai menentukan desain yang akan dipakai untuk *aquaculture* paling efisien sesuai dengan daerah dan jenis ikan yang akan ditenak.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dari proses penelitian tesis ini serta pemberian saran untuk perbaikan dalam penelitian selanjutnya.

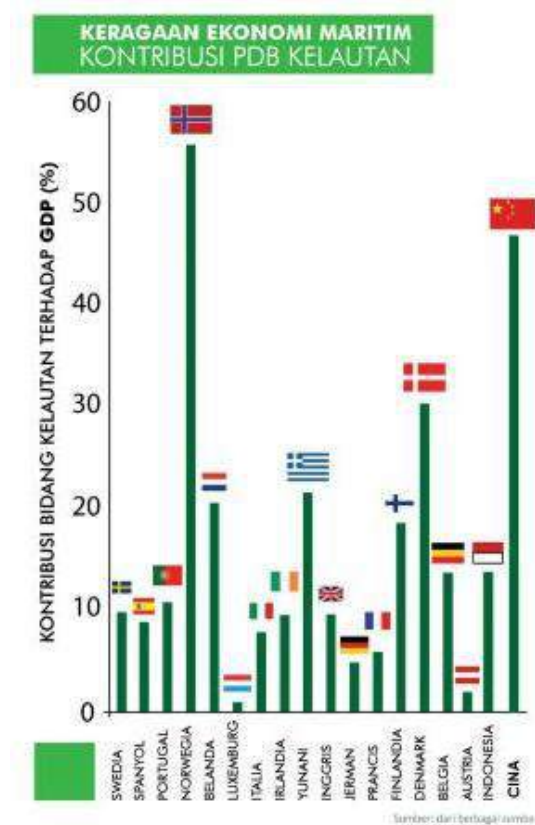
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Akuakultur Lepas Pantai

Akuakultur merupakan suatu teknik dalam pembudidayaan ikan di tengah laut dengan cara berternak ikan dalam suatu keramba yang diletakkan di laut lepas. Pengembangan dunia dalam mengadopsi budaya berternak ikan ditengah laut akan selalu mengalami perubahan dari sisi teknologi untuk meningkatkan produksi dan efisiensi. Sekarang ini Norwegia merupakan negara paling maju dari sektor kelautan dan perikanannya hal ini dikarenakan Produk Domestik Bruto negaranya hampir 60% didapatkan dari sektor kelautan, melihat negara Indonesia yang memiliki potensi sangat baik dari sektor kelautan maka kita dapat menjadi seperti Norwegia. PDB pada beberapa negara dapat dilihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1 Produk Domestik Bruto tiap negara dari sektor kelautan dan perikanan.

(Sumber : Diposaptono, 2016)

Di Indonesia banyak sekali potensi wilayah untuk perikanan dan hal ini dibagi serta dipetakan pada zonasi daerah-daerah diseluruh Indonesia, potensi akuakultur lepas pantai di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2 Potensi akuakultur lepas pantai Indonesia

(Sumber : Subandono, 2017)

Dalam menentukan lokasi budidaya ikan laut ada beberapa kriteria yang perlu diperhatikan untuk hasil yang optimum diantaranya:

- Bebas konflik
- Aksesibilitas dan daerah terlindung
- Kedalaman air
- Arus yang ideal
- Kualitas air mendukung pertumbuhan yang optimal
- Kondisi sosial ekonomi dan budaya masyarakat mendukung kegiatan akuakultur

Jenis jenis struktur keramba yang sudah ada di seluruh dunia pada saat ini dapat dilihat pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Jenis keramba yang ada saat ini

Tipe struktur keramba	Jenis produk
<i>Floating flexible</i>	<i>Dunlop, Bridgestone, Ocean Spar Net Pen, plastic circle types (Corelsa, Aqualine, etc) Aqua System</i>
<i>Floating Rigid</i>	<i>Pisbarca, Cruive</i>
<i>Semisubmersible Flexible</i>	<i>Refa</i>
<i>Semisubmersible Rigid</i>	<i>Farmocean, Ocean Spar Sea Station</i>
<i>Submersible Rigid</i>	<i>Sadco, Trident, Marine Industries, Sea Trek</i>

Dalam bab ini akan dijelaskan beberapa hal mengenai teknologi akuakultur yang ada diantaranya seperti:

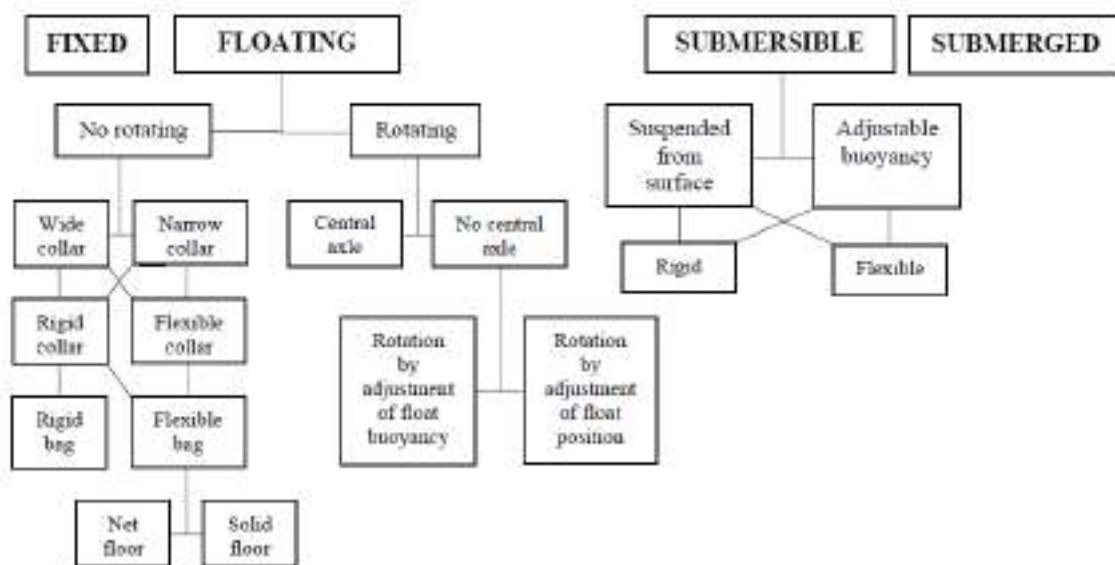
- Keramba, Jaring dan Tambat
- Sistem Pakan
- Kapal dan Peralatan
- Peralatan Pengawasan Lingkungan
- Karakteristik Lautan
- Ikan tuna

2.2 Keramba, Jaring dan Tambat

2.2.1 Keramba (*Cages*)

Peralatan yang biasa digunakan pada *offshore aquaculture* di seluruh dunia adalah keramba apung tradisional, beberapa macam ada yang sebagian strukturnya tenggelam atau keseluruhan keramba tenggelam. Keramba tersebut dapat menggunakan kerangka yang bahannya bisa dikatakan fleksibel atau rangka yang tangguh dengan kata lain bahannya sangat kaku yaitu baja. Dalam pembahasan berikut akan dijelaskan beberapa variasi struktur akuakultur yang ada saat ini berdasarkan produk yang telah diproduksi dan ada di beberapa negara. klasifikasi sistem keramba yang telah ada didunia dapat dilihat pada Gambar 2-3 dimana struktur akuakultur dibagi menjadi 4 jenis utama yaitu:

1. Struktur terpancang
2. Struktur terapung
3. Struktur semi-terapung
4. Struktur tenggelam



Gambar 2-3 Sistem klasifikasi keramba berdasarkan jenis operasinya⁸

(sumber: Design of a cage culture system for faming in mexico – web document)

2.2.1.1 Floating flexible cage systems

Tipe yang paling familiar dalam *offshore aquaculture* adalah keramba terapung dengan struktur dasar kerangka melingkar yang terbuat dari tubular berbahan *polyethylene*. Tubular ini biasanya memiliki diameter berukuran 200-300 mm, akan tetapi terdapat juga diameter 500 mm yang digunakan. *Working platform* yang sempit dapat dibuat pada *load-bearing circular frame* dan tubular tersebut dapat diisi dengan *floating filler*. Hal ini membuat struktur tersebut mengapung dan membantu jaringnya dan mencegah burung memasuki keramba serta ikan keluar dari keramba. Pada laut Baltik, keramba paling besar berukuran diameter 100 meter sedangkan pada umumnya yang biasa dipakai adalah 40-50 m. akan tetapi untuk berternak tuna biasanya digunakan diameter 200 meter. Dan untuk sistem ini kedalaman lautan minimal adalah 20 m. Perusahaan jepang juga memproduksi kerangka yang dapat mengapung akan tetapi berbahan dari karet (*rubber hoses*) yang biasa digunakan untuk kapal tanker mentransportasikan minyak ke terminal akan tetapi perusahaan ini telah berhenti produksinya pada tahun 2000.

⁸ Alfredo Emmanuel Vazques Olivares, "Design of A Cage Culture System for Farming in Mexico."



Gambar 2-4 Polyethylene tube frame dengan diameter 500 mm

(sumber: Offshore cage system: practical overview – Article)

Floating flexible cages ini dapat dipakai untuk kondisi lingkungan dengan tinggi gelombang signifikan 3 m. Beberapa variasi ukuran dapat digunakan tergantung pada kebutuhan. Kelemahan dari sistem ini adalah kerangkanya dapat rusak pada kondisi cuaca yang buruk karena sebagian struktur muncul dipermukaannya.



Gambar 2-5 rubber tubing untuk sistem *floating flexible cage system*

(sumber: Offshore cage system: practical overview – Article)

2.2.1.2 *Floating rigid cage systems*

Rangka metal biasa digunakan pada beberapa aplikasi *offshore farming*, biasanya untuk di lokasi yang tidak terlalu dalam karena sistem ini memiliki akses jembatan yang cukup lebar dan mampu untuk *forklift truck* beroperasi disana. Ukuran dari sistem keramba ini adalah 20x20 m yang biasa digunakan untuk berternak ikan salmon. Namun struktur ini memiliki kelemahan terhadap kerusakan akibat badai dan suhu dingin yang bisa menyebabkan lautan menjadi es karena akumulasi dari es yang menempel pada struktur dan menambah berat dari unit tersebut. Struktur ini dapat dilihat pada Gambar 2-6.



Gambar 2-6 Rigid cage system paling laris terjual (kiri), memiliki *feed storage*, *electricity generator* dan kabin kecil untuk pekerja (kanan)

(sumber: Offshore cage system: practical overview – Article)

2.2.1.3 *Submerged and semisubmersible systems*

Sistem ini biasa dipakai pada area laut terbuka, keramba yang tenggelam di bawah permukaan laut dapat menghindari efek dari badai yang dekat pada permukaan air. Selain itu beberapa alga yang beracun dapat dihindari menggunakan sistem keramba yang ditenggelamkan ini. Berbagai bentuk dan struktur telah ada dan jenis keramba ini memerlukan sistem dimana dapat dinaikan untuk perawatan.

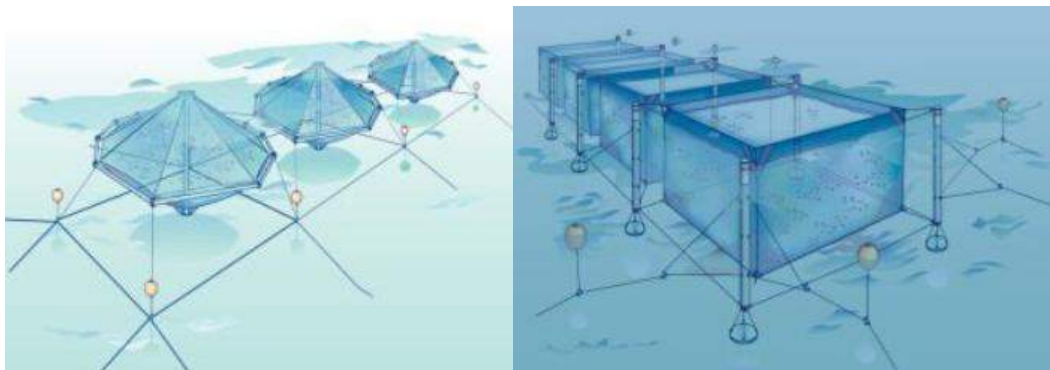
Sistem yang tenggelam ini tidak sebanyak sistem yang mengapung dipermukaan karena investasi yang nilainya cukup tinggi dan pemberian makan serta mengurus pakan ikan yang cukup sulit. Namun keuntungan dari sistem ini adalah suhu yang lebih stabil untuk ikan yang berada di kedalaman lebih dan keramba tersebut tidak perlu di bersihkan seperti halnya sistem yang berada dipermukaan. Selain itu lautan yang lebih dalam lebih cepat membuat ikan tumbuh, ikan tidak mudah *stress*, lebih tahan hidup dan efisiensi pakannya lebih baik. Struktur *Farm Ocean* yang telah ada di Swedia dapat dilihat pada Gambar 2-7.



Gambar 2-7 Semi-submerged pertama yang dibuat di Swedia oleh Farm Ocean

(sumber: Offshore cage system: practical overview – Article)

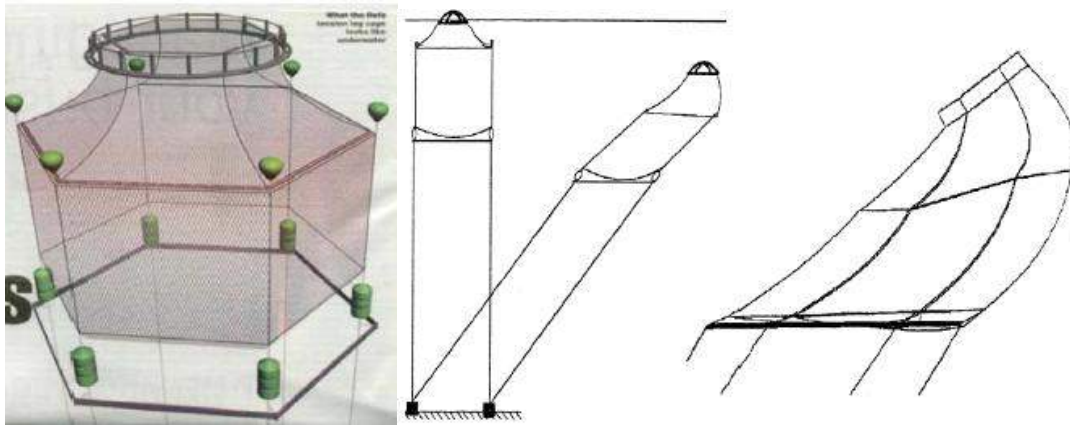
Untuk struktur *seastation* yang merupakan sistem yang terbentuk dari beberapa keramba yang berdekatan dapat dilihat pada Gambar 2-8.



Gambar 2-8 Seastation farm dengan mooring system milik perusahaan Ocean Spar

(sumber: Offshore cage system: practical overview – Article)

Tension Leg Cage yang merupakan struktur keramba dimana kerambanya yang dapat bergerak dan berubah bentuknya akibat arus dan gelombang dikarenakan pengikatnya hanya dari *anchoring* dasar laut, stuktur TLC ini dapat dilihat pada Gambar 2-9.



Gambar 2-9 TLC (*Tension Leg Cage*) yang dapat berubah bentuk dan kedalamannya.

(sumber: Offshore cage system: practical overview – Article)

Struktur *spherical* yang terdiri dari kerangka kaku merupakan salah satu contoh struktur yang dapat tenggelam maupun mengapung, bentuk struktur ini dapat dilihat pada Gambar 2-10.



Gambar 2-10 *Rigid frame* berbentuk seperti bola yang digunakan pada laut dalam.

(sumber: Offshore cage system: practical overview – Article)

2.2.1.4 Ringkasan Keramba

Dalam mendesain keramba lepas pantai diperlukan beberapa pendekatan-pendekatan umum⁹ yang dapat dijadikan pertimbangan, yaitu:

- Membuat bentuk *cage* yang stabil untuk menghindari stress pada ikan dan dapat menyediakan lingkungan stabil.

⁹ D.C.B. Scott and J.F Muir, “Offshore Cage Systems - A Practical Overview.”

- Memberikan pertukaran air yang baik untuk memenuhi kebutuhan metabolisme ikan dan mengeluarkan kotoran dari area sekitar *cage*.
- Menyerap atau mendefleksikan gaya dari lingkungan untuk menahan sistem struktur.
- Menyediakan lingkungan yang efisien untuk kegiatan berternak sehari-hari dan peralatan untuk berternak secara baik.
- Posisi keramba dapat dipertahankan serta aman dari bahaya navigasi
- Meminimalkan biaya pembuatan dan operasi sebisa mungkin

Untuk jenis desain keramba *floating cage system* dan *floating flexible cage* baik kelebihan dan kekurangannya dapat dilihat pada Tabel 2-2 & Tabel 2-3.

Tabel 2-2 Kelebihan dan kekurangan dari *floating cage system (rubber hose)*

Kelebihan	Kekurangan
Sangat tahan terhadap gaya gelombang dan mampu bertahan lebih dari 10 tahun	Tiang penopang dapat bermasalah (melilit) Mahal apabila dalam skala kecil
Efektif dan terbukti untuk sistem jaring gantung	Akses untuk berjalan terbatas
Banyak kemungkinan variasi konfigurasi	Jaring di atas dan sistem pakan yang sulit untuk diletakkan
Relatif murah dalam volum yang besar	Butuh kapal besar
Secara umum banyak digunakan untuk komersil	

Kelebihan dan kekurangan dari *floating cage system* dilihat dari beberapa aspek seperti biaya, akses, sistem dan juga konfigurasi yang dipakai serta umur strukturnya sendiri.

Tabel 2-3 Komparasi keuntungan dari *Floating Flexible cage (Ocean Spar net pen system)*

Kelebihan	Kekurangan
Apabila kondisi volume jaring 90% masih dapat bertahan pada arus 1.75 m/s	sistem <i>mooring</i> yang kompleks Masih sedikit yang memakai
Variasi konfigurasi memungkinkan sampai 60.000m ³	Tidak ada akses jalan
Biayanya efektif dalam skala besar	Fasilitas untuk sistem pemberian makan tidak dapat dipasang
Jaring atas dapat dikaitkan	Butuh kapal besar
<i>Impact</i> visual permukaan rendah	

Floating flexible cage memiliki kelebihan dan kekurangan yang bisa dilihat pada penjelasan diatas dimana beberapa keuntungannya seperti murah dalam skala besar dan *impact* visual permukaan rendah, Sedangkan struktur keramba apung kaku (*floating rigid cages*) merupakan struktur yang sederhana dalam pembuatannya namun walaupun mudah dalam pembuatannya akan tetapi biaya perawatannya akan lebih mahal karena struktur keramba ini besar, kelebihan dan kekurangan dari struktur ini dapat dilihat pada Tabel 2-4.

Tabel 2-4 Kelebihan dan kekurangan dari *floating rigid cages*

Kelebihan	Kekurangan
<i>Platform</i> untuk bekerja stabil dalam segala kegiatan peternakan serta manajemen operasinya	Struktur yang besar dan berat membutuhkan fasilitas pelabuhan yang besar serta biaya mahal untuk <i>towing</i> saat pemasangan
Berpotensi untuk pemberian pakan dan sistem panen yang terintegrasi	Berat yang besar akan membutuhkan sistem <i>mooring</i> yang besar pula
Dapat meningkatkan keamanan operator dan efisiensi	Biaya yang besar untuk struktur baja dari segi proteksi dan perawatan
Konstruksi dan fasilitas perbaikan dapat dikerjakan di galangan yang konvensional	

Selanjutnya untuk struktur keramba semi-tenggelam (*semisubmersible cage system*) jenis *refa tension leg* ini merupakan desain yang sederhana namun apabila terkena badai maka pengurangan volume dari kerambanya bisa sampai 25% dan hal ini berakibat cukup signifikan pada ikan yang ada dalam keramba tersebut dikarenakan apabila ikan yang terdapat dalam keramba sudah banyak atau dengan kata lain maksimum maka volume yang berkurang tersebut akan membuat ikan menjadi stress karena berdesakan dan akhirnya dapat menyebabkan kematian pada ikan. Untuk itu kelebihan dan kekurangan pada sistem struktur yang satu ini dapat dilihat pada Tabel 2-5.

Tabel 2-5 Kelebihan dan kekurangan dari *semisubmersible cage system (Refa tension leg cage)*

Kelebihan	Kekurangan
Desain sederhana dan respon otomatis	Pemberian pakan idealnya dilakukan dibawah permukaan karena terbatasnya luas area pada permukaan air
Biaya relatif efektif	
Area yang kecil untuk meletakkan <i>mooring</i>	
Menggabungkan fitu dari operasi konvensional dengan perlindungan terhadap badai	Jenis <i>mooring</i> yang dipakai adalah blok beton dan sulit untuk memasangnya dibandingkan jangkar konvensional
Pengurangan volume < 25% saat badai	

Perbandingan antara *Farmocan* dan *Seastation* baik dari keuntungan maupun kerugian dari masing-masing struktur tersebut dari beberapa aspek seperti umur struktur, akses, sistem pemberian pakan, biaya pembangunan, sistem penamatan strukturnya dan kerumitan struktur dalam pembuatannya dapat dilihat pada Tabel 2-6. Dengan bentuk yang berbeda antara struktur tersebut maka sistem dalam mendesain serta karakteristik masing-masing struktur akuakultur tersebut akan memiliki keunikannya sendiri seperti halnya *SeaStation* yang dapat didesain separuh tenggelam atau tenggelam penuh dan hal ini akan memberikan efek yang berbeda serta penanganan yang berbeda pula dikarenakan apabila tenggelam penuh struktur akan tidak terkena gelombang namun akan sulit dari segi pemberian makan, perawatan atau saat memanen hasil ikan yang sudah tumbuh dewasa dan siap diangkut untuk disalurkan ke distributor yang ada di pantai.

Tabel 2-6 Komparasi *Semisubmersible cage system* (*Farmocean & Seastation*)

	Kelebihan	Kekurangan
Farmocean	Telah dicoba selama 12 tahun dan bertahan pada beberapa variasi kondisi yang ada	Biaya yang besar
	Terbukti memiliki umur hidup yang lama	Sulitnya akses saat panen ternak
	Sistem pemberian pakan yang terintegrasi	Kesulitan dalam membersihkan / mengganti jaring
	Volume yang stabil	Terbatasnya area permukaan untuk pemberian pakan
	Performa ternak yang baik	Struktur baja yang cukup kompleks, membutuhkan perlindungan korosi dan perawatan berkala
Oceanspar SeaStation	Format sederhana dan juga strukturnya	Biaya yang dibutuhkan relatif tinggi untuk volume yang biasa dipakai pada sekarang ini
	Semi atau tenggelam penuh	
	Distorsi minimal pada arus laut	Belum sepenuhnya terbukti pada industri komersial praktis dan perlunya perubahan dalam desainnya
	Kapabilitas panen ternak yang terintegrasi	
	Mudah untuk ditarik (<i>towed</i>)	Pemberian pakan yang efisien dan penggantian jaring akan sulit nantinya
	Menggunakan sistem <i>mooring</i> yang sederhana	

Dan yang terakhir adalah struktur yang tenggelam, yaitu sistem keramba tenggelam (*submersible cage system*), struktur yang satu ini sangat jarang dipakai karena tingginya biaya dan juga sulitnya sistem pengoperasiannya. Kelebihan dan kekurangan dari sistem ini dapat dilihat pada Tabel 2-7.

Tabel 2-7 Keuntungan dan kerugian dari *Submersible cage system*

Kelebihan	Kekurangan
Desain yang menghindari permukaan dari es dan lewatnya kapal	Biaya sangat tinggi
<i>Impact</i> visual minim	Kompleks dalam sistem operasinya
Terhindar sepenuhnya dari efek badai	Metode untuk perawatan dan pemeliharaan <i>cage</i> dibawah permukaan air masih dalam tahap pengembangan
Kekuatan struktur tidak perlu sekuat struktur yang terdapat dipermukaan	Terbatasnya penglihatan dalam kondisi normal

Setelah semua struktur keramba telah dijelaskan diatas baik dari kelebihan maupun kekurangannya maka dapat didesain sebuah stuktur yang paling baik dengan mengumpulkan kekurangan dari tiap-tiap jenis stuktur akuakultur yang ada lalu kekurangan tersebut bisa kita kurangi bahkan kita hilangkan agar struktur yang kita rancang untuk akuakultur di perairan Indonesia tersebut telah menyelesaikan persoalan-persoalan yang biasa dihadapi dalam mendesain akuakultur yang selama ini telah ada di beberapa negara maju, dengan komparasi studi diatas diharapkan desain inovasi yang dirancang dapat menjadi titik awal bagi perkembangan akuakultur yang ada di Indonesia.

Ringkasan secara singkat dari semua jenis keramba yang ada saat ini dapat dilihat pada Tabel 2-8.

Tabel 2-8 Penjelasan singkat tentang cage aquaculture

Cages System	Feeding System	Mooring System	Size	Shape	Volume	Cost	Sevice life	Remarks
<i>Floating cage system</i>								
Floating flexible cages	hand feeding and observation	-	160 m diameter & 20 m depth	squares, hexagons or Octagons	>40.000 m ³	(large scale) 5-6 euro / m ³ & (small scale) 25 euro /m ³	> 10 years	Used for tuna and salmon
Floating rigid cages	-	-	126 m long, 32 m wide	squares	12 x 2000 m ³	100 euro /m ³	> 5 years	Limited commercial track record
<i>Semi-submersible cages</i>								
Refa	-	Tensioned leg vertical mooring ropes with concrete blocks	-	Trapesium cages	up to 10000 m ³	10 -14 euro /m ³	-	Feeding should be done by subsurface
Farmocean	Automatic feeding system computerized (3 t storage)	Fixed 3 point system	-	Umbrella framework with 6 steel tubes	2500 to 6000 m ³ widely used 3500 m ³	> 50 euro /m ³	8-10 years	poor access harvesting and net cleaning system
Ocean spar sea station	Feeding in small platform on top of central spar	moored at central spar	-	Single central steel tube vertical spar	3000 - 8000 m ³	20 - 30 /m ³	-	difficult net changing & not proven in commercial practice
<i>Submerged cages system</i>								
Submerged cages	Automatic / hand feeding	single point mooring	-	Sphere, cylinder, umbrella double-sided	1000-5500 m ³	-	-	Lack visibilty and complex to operate

2.2.2 Jaring (*Nets*)

Nylon merupakan material jaring yang paling sering digunakan untuk keramba pada *aquaculture*. Namun terdapat beberapa jenis bahan baru termasuk PET (Polyethylene terephthalate) dan juga Dyneema. Tembaga dan *Stainless steel* juga tersedia untuk jaring dan keuntungannya memakai bahan tersebut adalah memberi perlindungan untuk lebih tahan terhadap kerusakan akibat badai dan predator. Bahan tersebut juga dapat mempertahankan bentuknya di arus yang cukup deras. Hal ini mempengaruhi kapasitas maksimum dari tiap keramba walaupun material cukup mahal akan tetapi umur dari struktur tersebut bisa lebih lama namun lebih berat.

Bentuk jaring keramba dapat dipertahankan dengan diberi beban terpisah atau *ring/sinker tube* dibagian bawahnya. Mempertahankan bentuk keramba merupakan hal yang penting karena ini akan berefek pada kapasitas ikan didalam keramba. Penggunaan *fouling* pada jaring juga akan menambah berat dan oleh karena itu pembersihan serta pemberian *antifouling* juga perlu dilakukan secara rutin.

2.2.3 Tambat (*mooring*)

Jumlah titik tambat (*mooring points*), pemilihan jenis material pada jangkar (*anchor*) dan talinya serta bagaimana mereka dihubungkan pada kerangka struktur merupakan factor penting untuk ketahanan struktur tersebut. Unit dalam jumlah yang banyak biasanya menggunakan beberapa *orthogonal moorings*. Pada beberapa kasus dua jangkar dan tali tambat biasa dipasang pada arah angin dan arus yang sering terjadi. Fleksibilitas dari *mooring lines* harus dapat memastikan apabila pergerakan besar terjadi pada jaring maka tidak akan terjadi melar yang penuh dan dapat menahan beban yang penuh. Untuk penggunaan jangkar biasanya tergantung pada kualitas *seabed* lokasi dimana tambak berada. Dilautan yang cukup dalam biasanya satu jangkar biasa digunakan dengan beberapa unit *aquaculture* disambungkan dengan *single mooring line*. Untuk menahan pergerakan stasion dengan *mooring*, *drifting* atau *self-propelled farms* bisa menjadi solusi untuk kondisi lautan lepas.

2.2.3.1 Sistem Tambat (*Mooring system*)

Terdapat beberapa jenis utama *mooring layout*¹⁰ yang ada pada umumnya untuk bangunan laut, namun untuk sistem tambat pada budidaya ikan yaitu:

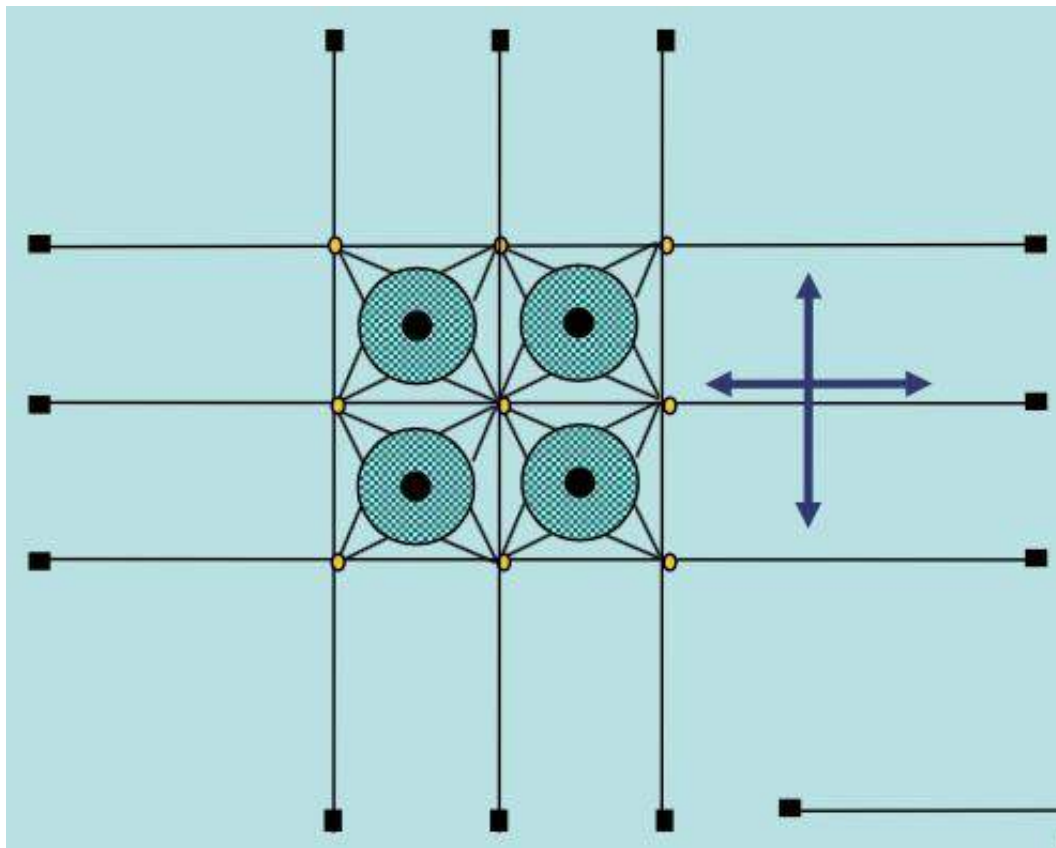
2.2.3.1.1 Mooring system pada perikanan ternak (*mariculture*)

Berkembangnya teknologi *mariculture* ke laut dalam maka praktik sistem penambatan yang digunakan dalam industri perikanan ternak ikut berkembang pula. Berikut ini beberapa konfigurasi tambat yang umum digunakan dalam *mariculture*.

Multi Directional Anchor Lines

Rectangular Array

Sistem tambat ini berbentuk persegi dengan masing-masing titik tambat yang berhimpit membentuk beberapa kolam persegi, hal ini dapat dilihat pada Gambar 2-11.



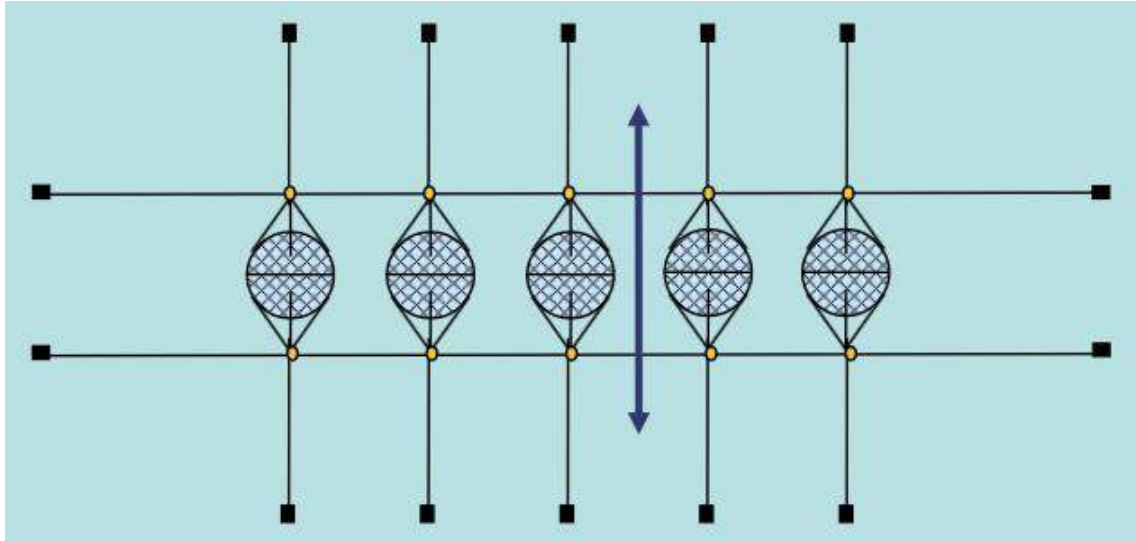
Gambar 2-11 Konfigurasi *Mooring* Jajaran Persegi

Sumber : (WAS Aquaculture, 2009)

¹⁰ ABC MOORINGS, "Mooring Layout Types."

Linear Array

Penambatan pada *linear array* merupakan konfigurasi berupa garis-garis lurus yang saling memotong, keramba tersebut disusun secara teratur namun diberi sistem tambat yang sama dan hal ini dapat dilihat pada Gambar 2-12.



Gambar 2-12 Konfigurasi *Mooring* jajaran linear

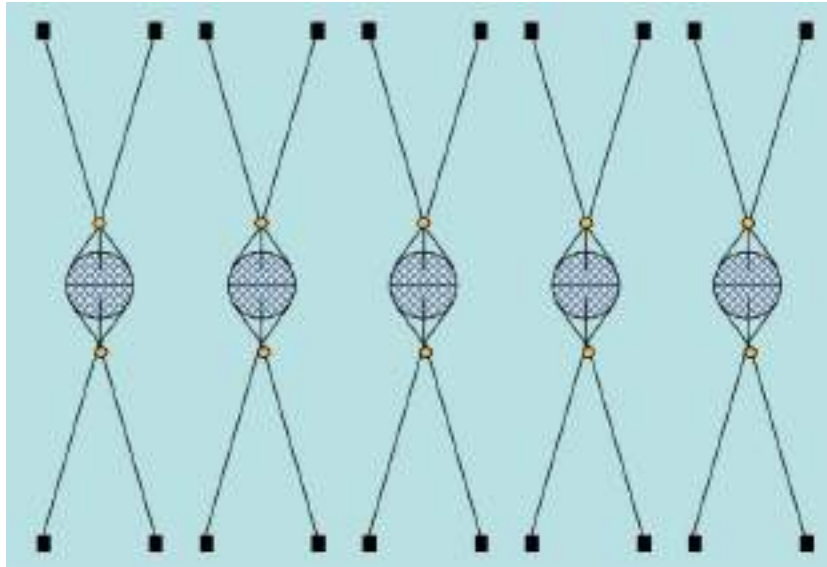
Sumber : (WAS Aquaculture, 2009)

Karakteristik konfigurasi jenis ini adalah sebagai berikut

- Konfigurasi susunan kisi-kisi akan efektif untuk jumlah keramba yang banyak
- Toleransi terhadap arus dari berbagai arah besar
- Kegagalan lokal akan berakibat fatal pada integritas sistem tambat secara keseluruhan
- Resiko penyebaran penyakit dan penumpukan polusi relatif besar

Independent 4 Points Mooring

Berbeda dari 2 sebelumnya, untuk konfigurasi ini tiap keramba yang disusun tidak saling berhubungan antara tali tambatnya, karena hanya peletakannya saja yang berdampingan namun untuk sistem tambatnya dilakukan sendiri-sendiri dengan diberikan jarak yang sama serta teratur. Sistem konfigurasi tambat 4 titik ini dapat dilihat pada Gambar 2-13.



Gambar 2-13 Konfigurasi *Mooring* 4 titik tambat

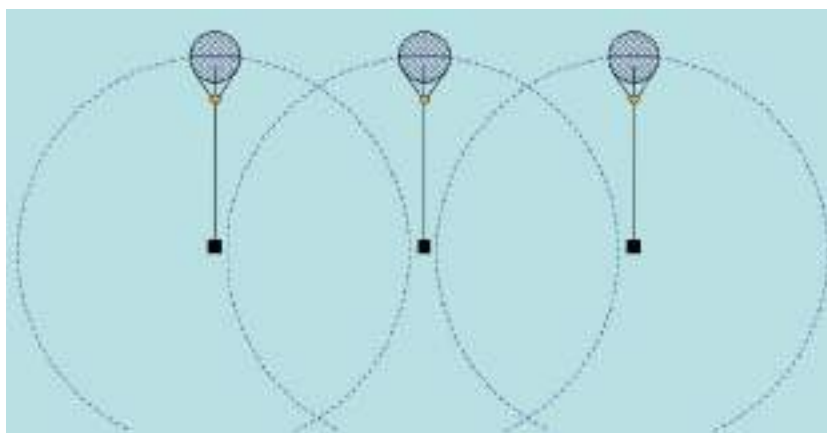
Sumber : (WAS Aquaculture, 2009)

Karakteristik konfigurasi jenis ini adalah sebagai berikut:

- Efektif bila arah arus cenderung 2 arah saja
- Kemungkinan terjadi kegagalan relatif kecil
- Biaya paling mahal dibandingkan konfigurasi lain

Independent Single Point Mooring

Konfigurasi penambatan tunggal ini sama seperti diatas, tidak berkaitan antar keramba akan tetapi hanya menggunakan satu sistem tambat dan struktur dapat bergerak ke segala arah, konfigurasi ini dapat dilihat pada Gambar 2-14.



Gambar 2-14 Konfigurasi *Mooring* 1 titik tambat tiap keramba

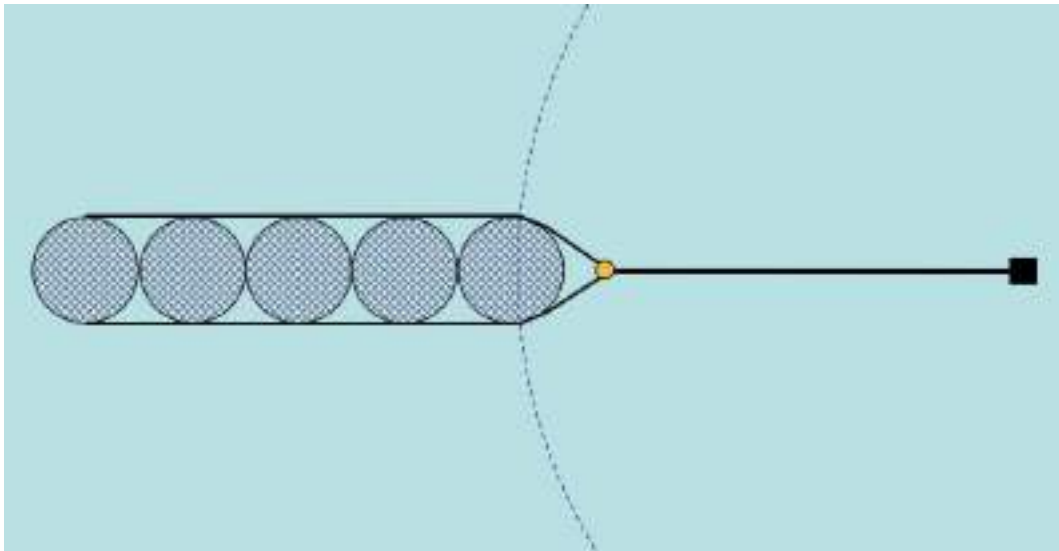
Sumber : (WAS Aquaculture, 2009)

Karakteristik konfigurasi jenis ini adalah sebagai berikut:

- Konfigurasi paling sering digunakan untuk sektor maritim lain
- Biaya relatif murah
- Fleksibel terhadap berbagai arah arus
- Redudansi struktur tambat rendah

Single Point Mooring Array

Penempatan keramba yang berdekatan tersusun dengan rapi namun semua dihubungkan pada satu penambatan ini merupakan konfigurasi yang cukup sederhana namun cukup berisiko apabila talinya tidak kuat menahan gaya bersamaan dari beberapa keramba yang menjadi satu, jenis konfigurasi seperti ini dapat dilihat pada Gambar 2-15.



Gambar 2-15 Konfigurasi *Mooring* 1 titik tambat posisi keramba berdekatan

Sumber : (WAS Aquaculture, 2009)¹¹

Karakteristik konfigurasi jenis ini adalah sebagai berikut:

- Harga relatif murah
- Mempermudah sistem pemberian pakan terpusat untuk feeder otomatis
- Redundansi rendah
- Lingkungan dibawah keramba terancam kontaminasi sisa peternakan dan pestisida
- Interaksi dinamis antar keramba dapat berakibat fatal.

¹¹ "WAS Aquaculture."

2.2.3.2 Tegangan Tali Tambat

Gerakan akibat dari beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan (*tension*) pada *mooring*. *Tension* yang terjadi dapat dibedakan menjadi:

Mean Tension

Mean tension adalah tension pada mooring yang berkaitan dengan *mean offset*.

Maximum Tension

Maximum tension adalah *mean tension* yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low frequency tension*. *maximum tension* dapat ditentukan dengan prosedur dibawah ini¹²:

$T_{lfmax} > T_{wfmax}$, maka:

$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig}$

$T_{wfmax} > T_{lfmax}$, maka:

$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig}$

dengan:

$T_{mean} = \text{mean tension}$

$T_{max} = \text{maximum tension}$

$T_{wfmax} = \text{maximum wave frequency tension}$

$T_{wfsig} = \text{significant wave frequency tension}$

$T_{lfmax} = \text{maximum low-frequency tension}$

$T_{lfsig} = \text{significant low-frequency tension}$

Untuk mengetahui desain sistem tambat aman atau tidak, harus dilakukan pengecekan. Salah satunya pengecekan dapat dilakukan pada nilai *tension* pada masing-masing tali tambat. *Tension* pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria *safety factor* yang terdapat pada *rule*. Pada thesis ini *rule* yang dipakai sebagai acuan adalah ABS. ABS (2004) telah menetapkan *safety factor* untuk *mooring line* harus lebih besar dari 1,67. Persamaan *safety factor* adalah:

$$\text{Safety Factor} = \frac{(\text{Minimum Breaking Load})}{(\text{Maximum Tension})}$$

¹² American Petroleum Institute, "Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures, Third Edition."

2.3 Sistem Pakan

Untuk memberi distribusi pakan ikan biasanya metode yang paling banyak digunakan adalah, *hand feeding, feed cannons, automatic feeders and centralized automatic feeders*¹³. ikan dapat diberikan makan secara otomatis naik tanpa pengawasan ataupun dengan pengawasan seseorang. Saat dalam masa pertumbuhan ikan, lebih baik ikan diberikan makan secara rutin setiap hari atau beberapa kali dalam sehari guna memaksimalkan pertumbuhannya. Pengecualian apabila dalam masa cuaca yang hangat atau dingin dan masa dimana ikan sebelum ditransportasikan. Keadaan tersebut membuat kita tidak mungkin untuk melihat ke lokasi setiap hari.

Banyak tipe sistem pemberian pakan tradisional yang dipakai di beberapa negara seperti penggunaan pendulum tradisional atau pakan yang dikaitkan pada selangka keramba akan tetapi pemakaian alat tradisional tersebut belum tentu kuat untuk berternak ikan di laut dalam yang memiliki ombak serta arus yang kuat. Saat ini penggunaan tongkang (*feed barge*) merupakan sistem pemberian pakan yang biasa digunakan dalam industri peternakan lepas pantai. Kapasitas tongkang yang digunakan ini bisa menyimpan sampai ratusan ton.

Tongkang ini diposisikan disebelah lahan peternakan lepas pantai atau ditengah-tengah area tersebut. Pakan untuk ikan ditransportasikan lewat pipa udara bertekanan dari tongkang menuju keramba peternakan tersebut. Pada tongkang yang besar biasanya dilengkapi *control room* dan fasilitas untuk pekerja dan biasanya tongkang tersebut tidak dilengkapi dengan permesinan sehingga untuk sampai ke lokasi harus ditunda menggunakan kapal lain. Untuk saat ini tongkang terbesar dapat ditemukan di Norwegia dan tongkang tersebut dapat bertahan sampai gelombang dengan ketinggian 7 m. Saat operasi biasanya pipa yang digunakan dapat rusak akibat kondisi ombak yang ganas oleh karena itu menjadi hal yang biasa apabila personel mengunjungi tambak secara langsung apabila kondisi dan cuaca memungkinkan. Karena cukup jauh lokasi tambak dan lokasi penyimpanan bahan pakan untuk ikan sehingga dirasa cukup memakan waktu dan bahan bakar adapun hal ini menjadi tidak efisien, oleh karena itu sistem pemberian makan untuk ikan dengan fasilitas *submerged aquaculture* perlu dikembangkan karena sistem ini memberi makan menggunakan pipa bawah laut dan merupakan solusi untuk mencegah kerusakan pipa apabila pipa tersebut

¹³ Francesco Cardia and Alessandro Lovatelli, *Aquaculture Operations in Floating HDPE Cages*.

digunakan dipermukaan. Untuk pemberian pakan dengan *feeding canon* dan *automatic feeder* dapat dilihat pada Gambar 2-16.



Gambar 2-16 Penggunaan *Feeding canon* (kiri) dan *automatic feeder* (kanan

(sumber: <http://www.aquaculture-com.net/feeders.htm>)

Feeding barge modern yang digunakan oleh negara-negara maju merupakan menjadi tempat pekerja tinggal serta tempat penyimpanan pakan dan pengawasan ikan dalam keramba, tongkang ini dapat dilihat pada Gambar 2-17.

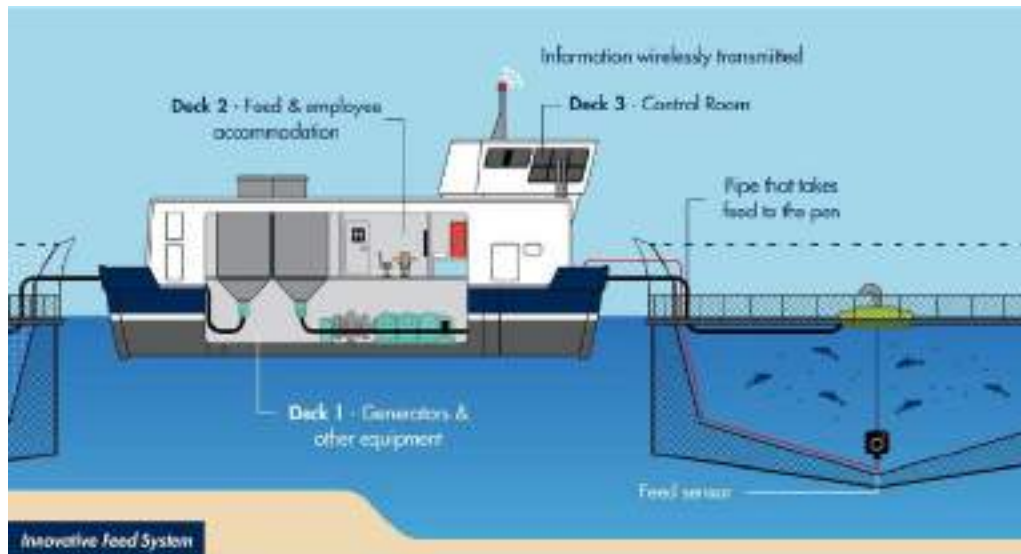


Gambar 2-17 *Feed barge* yang digunakan untuk memberi makan ikan dalam tambak¹⁴

(sumber: www.huonaqua.com)

¹⁴ www.huonaqua.com, "Feed Barge for Aquaculture."

Ilustrasi pemberian makan otomatis menggunakan pipa dari tongkang yang diletakkan tidak jauh dari keramba dapat dilihat pada Gambar 2-18.



Gambar 2-18 Sistem pemberian makan pada tambak menggunakan *feed barge*¹⁵

(sumber: www.huonaqua.com)

2.4 Kapal dan Peralatan

Kapal diperlukan untuk manajemen sehari-hari untuk keperluan peternakan ikan, mentransportasikan pakan dan ikan, merawat tambak, keramba, jaring, pelampung serta jangkar. Menjadi hal yang lumrah untuk menggunakan kapal dengan ukuran 10-20 m yang dilengkapi dengan *crane* untuk mengangkat jaring serta kantung pakan untuk ikan. Kapal dengan ukuran tersebut mempunyai kapasitas puluhan ton bergantung pada ukurannya, kecepatan serta peralatan yang ada dan diperkirakan untuk biaya pembangunan kapal tersebut berkisar antara 7 – 28 miliar rupiah. Kapal dengan ukuran tersebut belum tentu aman untuk operasi lautan lepas mengingat kapal yang biasa digunakan untuk peternakan ikan salmon memiliki panjang 40 m dan dengan kapasitas angkut sampai 100 ton.

Kebutuhan akan kapal bergantung pada perhitungan investasi dan biaya, penggunaan kapal yang memiliki tangki penyimpanan pakan ikan serta sistem pemberian makannya dapat membuat biaya yang dikeluarkan menjadi lebih singkat, hal ini dapat ditingkatkan efisiensinya apabila pakan untuk ikan tidak diambil dari tangki penyimpanan di darat

¹⁵ www.huonaqua.com, “Feeding System Using Feed Barge.”

melainkan langsung dari pabrik pembuatan pakan untuk ikan. Contoh *working vessel* untuk penyimpanan pakan dapat dilihat pada Gambar 2-19.



Gambar 2-19 Working vessel untuk peternakan ikan di tengah laut¹⁶

(sumber: worldmaritimeneews.com)

2.5 Peralatan Pengawasan Lingkungan

Pada *offshore aquaculture* tidak dapat kita mengunjungi tambak yang ada setiap harinya, oleh karena itu diperlukan pengawasan serta pengukuran secara otomatis dimana dapat dilihat dari darat. Hal yang perlu dilakukan pengawasan yaitu *real-time* data untuk ikan dalam tambak, suhu air dan tingkat oksigen yang ada. Sistem tersebut dapat melihat dan mengawasi menggunakan kamera dimana apakah pakan yang diberikan sudah dimakan atau belum oleh ikan dalam tambak tersebut. Informasi data ditransmisikan secara *wireless* dari *control room* lalu dilanjutkan ke darat. Penggunaan *solar panel* dan *wind turbines* bisa digunakan untuk kebutuhan tenaga yang kecil dalam sistem ini tetapi *generator* tetap dibutuhkan untuk kebutuhan listrik *platform*.

2.6 Karakteristik Lautan

Lokasi dimana tambak ikan berada menjadi hal yang utama dalam menentukan semuanya, untuk itu karakteristik dari lautan dimana ikan tersebut berada perlu diperhatikan mulai dari

¹⁶ worldmaritimeneews.com, “Feed Fishfarm in Norway.”

kedalaman, tinggi gelombang, iklim, suhu dan jenis tambak yang digunakan. Gelombang dan kedalaman menentukan teknologi yang akan digunakan untuk peternakan ikan tersebut, karakteristik panjang gelombang dan tinggi gelombang menentukan diameter dari keramba yang akan digunakan serta kedalamannya mengingat apabila ombak menghantam keramba dengan lebar yang cukup besar maka kerangka keramba yang dipakai bisa bertahan pada gelombang tersebut. Penggunaan kerangka yang diletakkan tenggelam penuh dapat mengurangi resiko kerusakan dan kedalaman laut yang tidak terlalu dalam akan memudahkan fasilitas *mooring* nantinya. Penggambaran bagaimana beberapa konfigurasi keramba ikan yang ada dilaut serta sistem penambatannya dapat dilihat pada Gambar 2-20.



Gambar 2-20 Mooring pada peternakan ikan di tengah laut¹⁷

(sumber: fishfarmsolution.com)

Letak tambak yang akan nanti di desain adalah untuk daerah sekitar selatan pulau jawa dimana wilayah tersebut merupakan tempat ikan tuna berkembang biak agar saat nanti di ternak ikan tuna berjalan maka ikan tersebut akan tumbuh dengan baik mengingat sama dengan habitat aslinya.

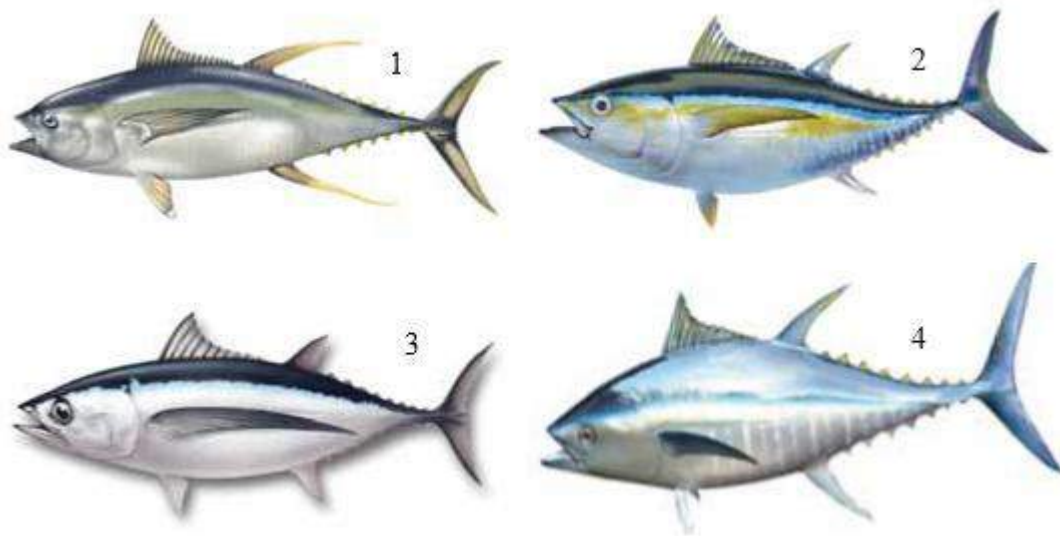
2.7 Ikan Tuna Indonesia

Posisi Indonesia yang terletak di khatulistiwa jelas menguntungkan untuk menjadi produsen tuna dunia. Pasalnya, massa air barat dan timur yang melintas di Samudera Hindia dengan membawa partikel dan kaya akan makanan biota laut dan arus Kuroshio yaitu *North Equatorial* dan *South Equatorial current* di Samudera Pasifik merupakan wilayah yang kaya dengan bahan makanan serta mempunyai suhu, salinitas dan beberapa factor yang disukai

¹⁷ fishfarmsolution.com, "Net Fish Farm Solution."

oleh ikan tuna. Wilayah perairan nusantara merupakan tempat kawin untuk berbagai jenis ikan seperti tuna, terutama di perairan Selat Makassar dan Laut Banda.¹⁸

Ikan tuna yang hidup di perairan laut Indonesia dikelompokkan menjadi dua jenis, yakni ikan tuna besar dan ikan tuna kecil. Ikan tuna besar meliputi madidihang (*yellowfin tuna*), albakora (*albacore*), tuna mata besar (*big eye tuna*), dan tuna sirip biru selatan (*southern bluefin tuna*). Ikan madidihang dan mata besar terdapat di seluruh wilayah perairan laut Indonesia. Sedangkan, albakora hidup di perairan sebelah Barat Sumatera, Selatan Bali sampai dengan Nusa Tenggara Timur¹⁹. Ikan tuna sirip biru selatan hanya hidup di perairan sebelah Selatan Jawa sampai ke perairan Samudra Hindia bagian Selatan yang bersuhu rendah (dingin). Sementara itu, ikan tuna kecil terdiri dari cakalang (*skipjack tuna*), tongkol (*eutynnus affinis*), tongkolkecil (*auxis thazard*) dan ikan abu-abu (*thunnus tonggol*). Ikan cakalang dapat dijumpai di seluruh perairan laut Indonesia, kecuali di Paparan Sunda bagian Selatan, Selat Malaka, Selat Karimata, dan Laut Jawa. Tuna mempunyai daerah penyebaran yang sangat luas atau hampir di semua daerah tropis maupun subtropis.



Gambar 2-21 Tuna yellow fin (1), tuna big eye (2), tuna albacore (3) dan tuna blue fin (4)

(sumber: ikan tuna Indonesia – artikel Kemeterian Perdagangan Republik Indonesia)

Ikan tuna merupakan jenis ikan dengan kandungan protein tinggi, berkisar antara 22,6 - 26,2 g/100 g daging dan lemak yang rendah berkisar antara 0,2 - 2,7 g/100 g daging, mineral kalsium, fosfor, besi dan sodium, vitamin A (retinol), dan vitamin B (thiamin, riboflavin,

¹⁸ Kementerian Perdagangan Republik Indonesia, "Ikan Tuna Indonesia."

¹⁹ detik.com, "Ini Daerah Kaya Ikan Tuna di Indonesia."

dan niasin). Bagian ikan tuna yang dapat dimakan berkisar antara 50% - 60%. Kadar protein daging putih tuna lebih tinggi daripada daging merahnya. Berbanding terbalik dengan kadar lemaknya yang daging putih tuna lebih rendah dari daging merahnya. Jenis ikan tuna yang paling diminati untuk dikonsumsi dapat dilihat pada Gambar 2-21.

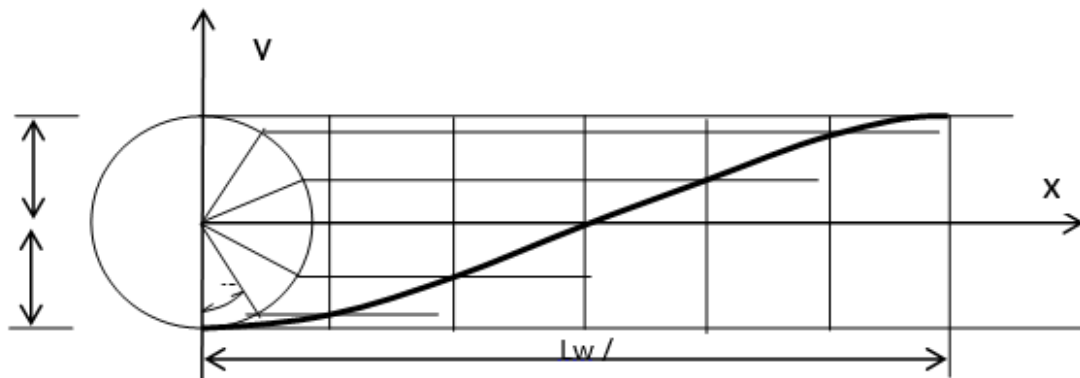
2.8 Teori gelombang dan hukum Archimedes

2.8.1 Gelombang

Gelombang Sinusoidal

Pada pergerakan *floating structure* tidak bisa terlepas dari pengaruh gelombang. Gelombang yang terjadi pada kondisi realita adalah acak, dan untuk memperhitungkan gelombang yang demikian sangat sulit. Maka perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui gerakan harmonis.

Pada pengerjaan penelitian ini, batasan masalah yang digunakan pada Akuakultur ini adalah gelombang dianggap reguler, yaitu gelombang sinusoidal. Pada gelombang tersebut dapat diproyeksikan menjadi sebuah lingkaran yang tiap titik pada garis berpotongan terhadap titik pada diameter lingkaran. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar Gambar 2-22.

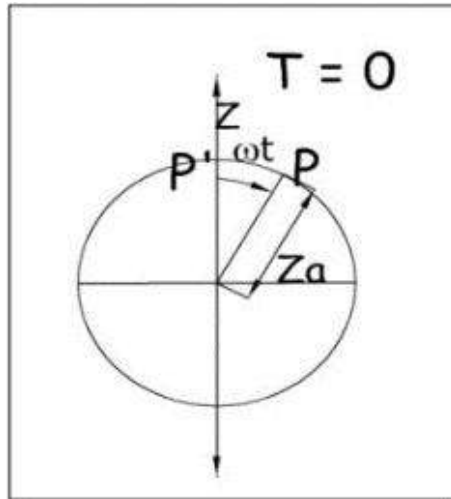


Gambar 2-22 Gelombang Sinusoidal

(Sumber: Bhattacharyya.1972)

Berdasarkan gambar di atas dapat dijelaskan bahwa proyeksi dari gelombang adalah sebuah lingkaran yang memiliki sudut yaitu ω dan pada tiap gelombang pada fungsi t dengan asumsi titik p sebagai vektor dari lingkaran²⁰. Sehingga lingkaran ini dapat disederhanakan menjadi Gambar 2-23.

²⁰ Eko Budi Djatmiko, *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*.



Gambar 2-23 Vektor dari *simple harmonic motion*

(Sumber: Bhattacharyya, 1972)

Spektrum Gelombang

Sebuah gelombang reguler memuat energi yang diidentifikasi pada setiap unit atau satuan luas permukaannya ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya.

Penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas permukaan dapat diekspresikan sebagai kepadatan spektrum gelombang atau lebih dikenal dengan istilah spektrum gelombang.

Bersamaan dengan semakin meningkatnya intensitas studi yang dilakukan mengenai respon gerak pada gelombang acak telah banyak dihasilkan spektrum gelombang yang beragam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dianalisis. Jenis-jenis spektrum gelombang yang biasa digunakan dalam perhitungan adalah model Pierson-Moskowitz (1964), ISSC (1964), Scott (1965), Bretschneider (1969), JONSWAP (1973), ITTC (1975) dan Wang (1991). Spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada spektrum gelombang JONSWAP karena karakteristik perairan Indonesia yang tertutup/kepulauan sehingga cocok dengan karakter spektrum JONSWAP.

Spektrum JONSWAP didasarkan pada percobaan yang dilakukan di North Sea. Persamaan spektrum JONSWAP dapat dituliskan dengan memodifikasi persamaan spektrum Pierson-Moskowitz, yaitu:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \text{EXP} \left[-1,25 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma^{\text{EXP} \left[\frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2\tau^2 \omega_0^2} \right]} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

$$\gamma = 0,0076 (X_0)^{-0,22}, \text{ untuk } X_0 \text{ tidak diketahui } \square\square = 0,0081 \omega_0$$

Perhitungan nilai parameter puncak (\square) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Toursethaugen (1985) sebagai berikut,

$$\gamma = EXP \left[3,4843 \left(1 - 0,1975 \left(0,036 - 0,0056 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \right) \frac{T_p^4}{H_s^2} \right) \right] \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

T_p = periode puncak spektra

H_s = tinggi gelombang signifikan

2.8.2 Archimedes

Floater yang dibuat nantinya harus mempunyai gaya angkat keatas yang lebih besar dari pada gaya-gaya yang bekerja ke bawah agar floater bisa terapung. Teori yang dipakai sendiri adalah teori dari hokum Archimedes. Hukum Archimedes sendiri mempunyai rumus dasar:

$$FA = \rho_a \times V_a \times g \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

FA = Gaya keatas yang dialami benda (N)

ρ_a = Massa Jenis zat cair (kg/m³)

V_a = Volume air yang terdesak (m³)

g = Percepatan Gravitasi (m/det²)

Gerakan *Couple Six Degree of Freedom*

Karena bangunan apung yang ditinjau terdiri dari enam mode gerakan bebas (*six degree of freedom*), dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah linier dan harmonik, maka persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\xi}_k + B_{jk}\dot{\xi}_k + C_{jk}\xi_k] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan:

M_{jk} = komponen matriks massa kapal
 A_{jk}, B_{jk} = matriks koefisien massa tambah dan redaman
 C_{jk} = koefisien-koefisien gaya hidrostatik pengembali
 F_j = amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks

F_1, F_2 , dan F_3 adalah amplitudo gaya-gaya eksitasi yang mengakibatkan *surge, sway*, dan *heave*, sedangkan F_4, F_5 , dan F_6 adalah amplitudo momen eksitasi untuk *roll, pitch*, dan *yaw*.

Respon Struktur

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *transfer function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut²¹:

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan :

$X_p(\omega)$ = amplitudo struktur
 $\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

Spektrum respons didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektrum respons merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots(2.6)$$

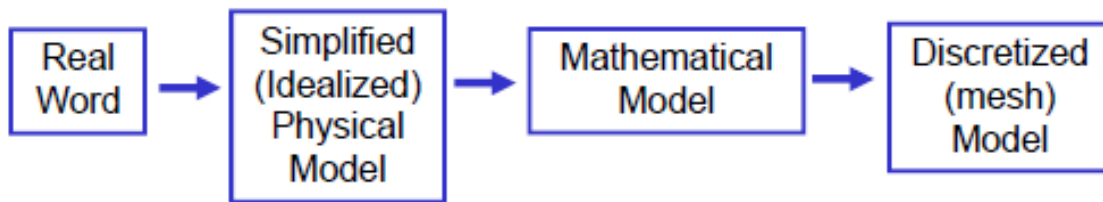
Dengan:

S_R = spektrum respons (m²-sec)
 $S(\omega)$ = spektrum gelombang (m²-sec)
 $RAO(\omega)$ = *transfer function*
 ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

²¹ Subrata K. Chakrabarti, *Handbook of Offshore Engineering*.

2.9 Permodelan dalam Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Analisis Elemen Hingga merupakan sebuah metode numerik untuk menyelesaikan masalah pada bidang teknik ataupun fisika matematika dan Analisis Elemen Hingga ini sangat berguna untuk permasalahan dengan bentuk geometri yang sulit, segala jenis pembebanan dan jenis material dimana solusi analitis tidak dapat dilakukan²². Solusi analitis biasanya dilakukan berdasarkan simplifikasi dan idealisasi dengan massa terkonsentrasi pada pusat titik berat dan penyederhanaan batang dengan segmen garis. Sedangkan untuk analisis elemen hingga dapat menghitung desain dengan geometri yang cukup kompleks selain itu juga memberikan hasil perhitungan struktur yang ideal dan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Tahapan awal dalam FEM adalah diskretisasi (*discretization*) dimana model yang memiliki diskontinuitas disederhanakan dalam bentuk jala / bidang (*mesh*), skema ini dapat dipahami pada Gambar 2-24.



Gambar 2-24 Skema diskret / mesh pada model geometri yang kompleks

(sumber: Goelke.Matthias (2013))

Dalam elemen hingga terdapat 3 tipe penyederhanaan elemen yaitu:

1. Elemen garis (1-D) yaitu: pegas, truss, balok, pipa dan lain lain.
2. Elemen bidang (2-D) yaitu: membran, pelat, kulit dan lain lain.
3. Elemen Solid (3-D) meliputi beberapa bidang, yaitu: temperatur, displasemen, tegangan, arus dan kecepatan.

Ilustrasi penjelasan diatas dapat dilihat pada Gambar 2-25.

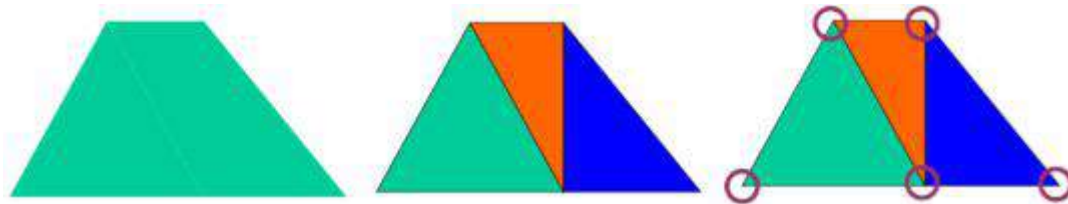
²² Goelke, *Practical Finite Element Analysis*.



Gambar 2-25 Elemen garis (kiri), Elemen bidang (tengah), Elemen solid (kanan).

(sumber: Goelke.Matthias (2013))

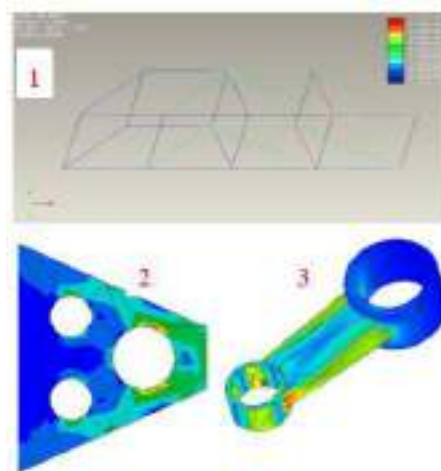
Dalam permodelan numerik metode elemen hingga suatu objek terdapat objek, elemen dan node dimana sebelum menyelesaikan masalah menggunakan elemen hingga perlu diketahui displasemen benda, tegangan dan regangannya yang nanti akan diekspresikan pada saat kondisi node memiliki jumlah nilai utama. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2-26.



Gambar 2-26 Objek (kiri), Elemen (tengah), node (kanan).

(sumber: Goelke.Matthias (2013))

Contoh analisis menggunakan Elemen Hingga pada pengaplikasiannya menggunakan *software* sebagaimana disebutkan diatas untuk elemen garis 1-D, elemen bidang 2-D dan elemen solid 3-D dapat dilihat pada Gambar 2-27.



Gambar 2-27 Elemen garis (1), Elemen bidang (2) dan Elemen solid (3).

(sumber: Goelke.Matthias (2013))

Tujuan dalam analisis elemen hingga adalah untuk mendapatkan solusi paling mendekati dengan permasalahan yang dibatasi oleh nilai yang ada pada bidang teknik. Prinsip yang perlu diperhatikan adalah permasalahan nilai batas atau yang biasa disebut masalah lapangan dimana domain atau wilayah yang sering mempresentasikan struktur fisik dan variabel lapangan bergantung pada ketertarikan kita terhadap suatu model untuk dianalisis dengan persamaan diferensial. Kondisi batas (*boundary condition*) adalah suatu nilai spesifik dari variabel yang ada dilapangan (atau variabel yang berhubungan) dengan kondisi yang ada sebenarnya dilapangan seperti apa.

Perlu diketahui pula terdapat 3 jenis tumpuan / perletakan yang biasa digunakan dalam suatu konstruksi yaitu:

- a. tumpuan sendi : dapat menerima gaya vertikal (F_y) dan horizontal (F_x) namun tidak dapat menerima momen (M), jika diberi beban momen maka akan berputar.
- b. tumpuan roll : dapat menerima gaya vertikal (F_y) tidak dapat menerima gaya horizontal (F_x) dan momen. Jika diberi gaya horizontal akan bergerak.
- c. tumpuan jepit : dapat menerima semua reaksi gaya vertikal (F_y), gaya horizontal (F_x) dan momen (M), dijepit dianggap tidak ada gerakan sama sekali.

Dalam proses *meshing* baik untuk 2 dimensi ataupun 3 dimensi, terdapat beberapa bentuk *cell* yang digunakan untuk analisis elemen hingga yaitu:

1. Dua dimensi (2-D)
 - a. Segitiga (*Triangle*) : jenis bentuk sel ini terdiri dari 3 garis dan merupakan tipe yang paling sederhana dalam proses *meshing* dan pembuatannya mudah serta cepat.
 - b. Persegi panjang (*Quadrilateral*) : Jenis bentuk ini terdiri dari 4 garis dan *mesh* jenis ini biasa digunakan pada bentuk yang terstruktur rapi.
2. Tiga dimensi (3-D)
 - a. *Tetrahedron* : memiliki 4 vertiks, 6 garis dan disatukan dalam 4 sisi segitiga. Pada kebanyakan kasus untuk jenis ini dapat dilakukan secara otomatis
 - b. *Pyramid* : memiliki 5 vertiks, 5 garis dan disatukan dalam 4 sisi segitiga dan satu sisi persegi. *Meshing* jenis ini paling efektif digunakan untuk transisi antara bentuk elemen persegi dan segitiga.

- c. *Triangular prism* : memiliki 6 vertiks, 9 garis dan disatukan dalam 2 sisi segitiga dan 3 sisi persegi panjang. Keuntungan dari jenis layer ini adalah dapat menyelesaikan struktur berlapis secara efisien
- d. *Hexahedron* : kubus topologi, memiliki 6 titik, 12 garis dan disatukan dalam 6 sisi persegi panjang, biasa disebut *hex* atau bata. Untuk jumlah elemen sel yang sama akurasi tertinggi terdapat pada bentuk sel ini.

2.10 Analisis kelelahan (*fatigue*) menggunakan pendekatan deterministic

Perhitungan kelelahan pada struktur sambungan dapat dilakukan dengan menggunakan basis hipotesis *Palmgren-Miner cumulative damage*, yang diekspresikan dalam rumus²³:

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots + \frac{n_m}{N_m} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

n_i = intensitas jumlah siklus dari rentang tegangan S_i (N/mm²) dimana biasa terjadi pada sambungan struktur akibat eksitasi beban eksternal (gelombang)

N_i = jumlah siklus pada rentang tegangan saat intensitas S_i (N/mm²) dimana kegagalan akibat kelelahan tegangan *yield* pada sambungan struktur menjadi sebuah pertanyaan, penggambaran hal ini didapatkan berdasarkan kurva S-N dengan bentuk serta jenis sambungan yang layak.

S_i = rentang tegangan (atau DS_i); dua kali dari amplitudo tegangan yang didapatkan pada sambungan (N/mm²)

Menurut hipotesis *Palmgren-Miner*, kegagalan yang terjadi pada sambungan akan terjadi saat index kerusakan D mendekati 1.0. beberapa teori untuk menghitung *cumulatice damage* berdasarkan data kurva S-N dapat ditemukan pada banyak literatur lain, akan tetapi *Palmgren-Miner* telah membuktikan metode yang masuk akal dan lebih mudah karena parameter utama yang dipakai sebagai rasio kerusakan (*damage ratio*) D merupakan fraksi antara jumlah siklus pada rentang tegangan selama proses pembebanan berlangsung dalam kurun waktu tertentu yang dinotasikan n dan jumlah siklus kegagalan terjadi sama pada

²³ Roylance, "Fatigue."

tingkatan / level rentang tegangan pada kurva S-N. Asumsi dasar pada *Miner's rule* adalah kegagalan terjadi saat penjumlahan rasio kerusakan adalah 1.

Prediksi umur kelelahan pada suatu struktur dapat dihitung menggunakan:

Linear cumulative damage

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i (S_i)^m}{A} \leq 1 \dots\dots\dots(2.8)$$

Fatigue life

$$N = N_0 / D \dots\dots\dots(2.9)$$

Fatigue design dari struktur yang di las pada umumnya diambil pada amplitudo data kurva S-N, pada kenyataannya struktur yang dilaut mengalami beban acak atau beban amplitudo yang bervariasi oleh karena itu pengembangan kelelahan akibat beban acak dapat dijadikan satu kesatuan yaitu kerusakan kumulatif (*cumulative damage*).

Untuk mendapatkan tegangan *hotspot* atau S_1 didapatkan pada lokasi sambungan dengan mengkalikan *nominal stress range* dengan SCF (*Stress Concentration Factor*). Maka nilai maksimum pada rentang tegangan dihitung dengan rumus:

$$S_i = S_{i(nom)} \times SCF \dots\dots\dots(2.10)$$

$S_{i(nom)}$ biasa didapatkan dengan menganalisis tegangan pada beban gelombang reguler (analisis deterministik) dan menghasilkan gaya internal atau momen pada komponen struktur, hal ini didapatkan dengan melakukan perhitungan saat gelombang terjadi dalam kurun waktu beberapa tahun yang dimuat dalam *Metoccean* data.

SCF juga dapat diturunkan dari hasil tegangan dengan menggunakan FEM pada struktur.

Jumlah siklus n_i untuk semua rentang tegangan s_i yang terjadi akibat beban gelombang baik dari tinggi gelombang H (m) dan periode T (sec) dapat dihitung dengan persamaan:

$$n_i = \frac{P_i \times T}{T_i} \dots\dots\dots(2.11)$$

P_i adalah frekuensi relatif yang terjadi pada tiap gelombang

T merupakan umur kelelahan stuktur akibat perhitungan semua siklus tegangan yang terjadi.

Dengan mensubstitusi persamaan di atas ke persamaan di awal maka didapatkan persamaan kegagalan kelelahan:

$$D = \frac{P_1 T}{N_1 T_1} + \frac{P_2 T}{N_2 T_2} + \frac{P_3 T}{N_3 T_3} + \dots + \frac{P_m T}{N_m T_m} = 1 \quad \dots \dots \dots (2.12)$$

Umur kelelahan T dapat ditemukan dengan menyelesaikan rumus diatas, perhitungan diatas dapat dijadikan menjadi sebuah tabel seperti pada Tabel 2-9.

Tabel 2-9 Contoh perhitungan *fatigue* menggunakan metode *deterministic*

$H_i(m)$	$T_i(\text{det})$	P_i	$S_i(\text{N/mm}^2)$	N_i	$P_i/(N_i x T_i)$
0.0 – 1.5	3	0.8781	11	1,06E+12	2,76E-07
1.5 – 3.0	5	0.1035	32	4,30E+10	4,81E-07
3.0 – 4.5	7	0.0124	79	2,86E+09	6,19E-07
4.5 – 6.0	9	0.0042	124	7,40E+08	6,31E-07
6.0 – 7.5	10	0.0011	158	3,58E+08	3,08E-07
7.5 – 10.0	11	0.0005	191	2,02E+08	2,25E-07
10.0 – 12.5	12	0.0001	226	1,22E+08	6,82E-08
		0.999		Total =	2,61E-06

$$T = D \sum_{i=1}^m \frac{N_i T_i}{P_i} \text{ dari hasil diatas didapatkan total } 2,61\text{E-}06$$

Dimana 1 tahun = 31536000 detik maka umur struktur diatas adalah 12,16 tahun.

2.11 Inovasi desain pada akuakultur

Inovasi produk menurut Hurley and Hult didefinisikan sebagai sebuah mekanisme perusahaan untuk beradaptasi dalam lingkungan yang dinamis, oleh karena itu perusahaan dituntut untuk mampu menciptakan pemikiran-pemikiran baru, gagasan-gagasan baru dan menawarkan produk yang inovatif serta peningkatan pelayanan yang memuaskan pelanggan. (Kusumo, 2006). Inovasi produk juga didefinisikan sebagai proses pengenalan produk atau sistem baru yang membawa kesuksesan ekonomi bagi perusahaan dan kesuksesan sosial bagi konsumen serta komunitas atau lingkungan yang lebih luas. (Avanti Fontana, 2011).

Sedangkan menurut UU No. 18 tahun 2002 Inovasi adalah kegiatan penelitian, pengembangan, dan/atau perekayasaan yang bertujuan mengembangkan penerapan praktis nilai dan konteks ilmu pengetahuan yang baru, atau cara baru untuk menerapkan ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah ada ke dalam produk atau proses produksi

Dari teori diatas dapat di simpulkan bahwa inovasi produk merupakan salah satu faktor penting dalam kesuksesan suatu perusahaan melalui produk inovatif yang mereka ciptakan guna memuaskan pelanggan. Sebab, kunci dari keberhasilan produk adalah produk mampu beradaptasi terhadap perubahan yang terjadi.

Inovasi desain struktur yang akan diberikan pada struktur akuakultur untuk di perairan Indonesia ini berupa:

- ✓ Struktur inovasi akuakultur memberikan akomodasi terhadap kru agar dapat melakukan pengawasan serta perawatan dengan mudah.
- ✓ Pemberian akses jalan untuk berkeliling struktur untuk pengunjung/wisatawan yang ingin melihat-lihat budidaya ikan di laut lepas.
- ✓ Struktur yang stabil dari segi respon geraknya terhadap gelombang karena desain yang cukup kompleks.
- ✓ Pemberian damping-redaman dengan naiknya ketinggian sarat air sehingga gerakan struktur baik surge, sway, heave, roll, pitch dan yaw menjadi kecil dan wisatawan merasa nyaman dan tidak mengalami gejala mabuk laut.

Gambar desain inovasi akuakultu dapat dilihat pada Gambar 4-103, sedangkan spesifikasi ukuran serta seperti apa bentuk desain inovasi yang dibuat terdapat pada penjelasan di sub-bab 4.2.4. Untuk mencapai kriteria inovasi yang diinginkan dengan kata lain desain yang lebih baik dari desain sebelumnya maka akan dilakukan analisis respon gerak dan analisis kelelahan struktur yang dijelaskan pada sub-bab 4.5.1 dan 4.6.1.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3.

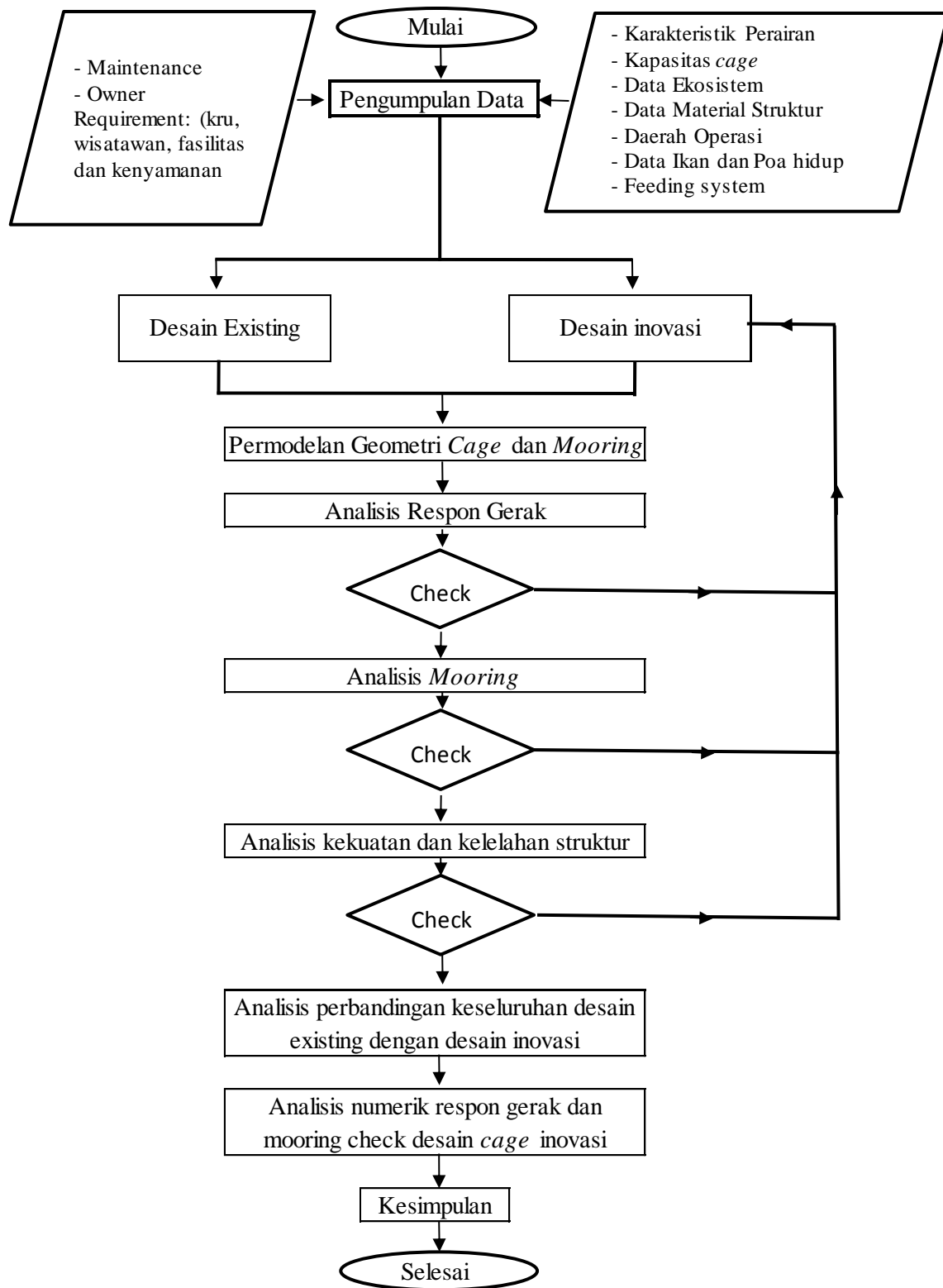
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Dalam bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah-langkah dalam pengerjaan Tesis ini. Serta diagram alir pengerjaan dalam mendesain struktur akuakultur yang baru. Dimana pada desain inovasi struktur akuakultur ini memberikan fasilitas akomodasi seperti akses jalan yang nantinya untuk program wisata yang bertujuan agar wisatawan dapat melihat secara langsung budidaya ikan yang ada pada keramba. Fasilitas ruangan santai serta diberikannya akses untuk berjalan kaki diatas struktur yang terdapat pagarnya bertujuan agar wisatawan merasa aman dan nyaman ketika berkunjung ke lokasi struktur akuakultur tersebut.

3.2 Diagram alir

Diagram alir proses pengerjaan thesis ini untuk setiap langkah yang dilakukan dari awal yaitu pengumpulan data, permodelan, analisis respon gerak, analisis kelelahan, perbandingan untuk semua desain yang ada sampai diberikannya kesimpulan dapat dilihat pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1. Diagram alir pengerjaan desain *aquaculture* untuk Indonesia

3.3 Langkah pengerjaan

3.3.1 Studi literatur

Dalam tahap memahami suatu *aquaculture* khususnya mendesain untuk berternak ikan, perlu dilakukan studi literatur serta pengumpulan data dimana hal ini berfungsi agar memahami sistem serta konsep dalam pembuatan *aquaculture* dan hal-hal apa saja yang perlu dipertimbangkan untuk memilih jenis *cage* yang dipilih untuk berternak sesuai dengan kondisi lingkungan dan jenis ikan.

3.3.2 Pemilihan jenis keramba (*cage*)

Pemilihan jenis *cage* yang dipakai dilihat dari segi kelebihan dan kekurangannya dengan menganalisis hal tersebut apakah sudah sesuai dengan kriteria jenis ikan yang akan diproduksi. Struktur materialnya juga perlu diperhatikan agar kekuatan serta ketahanannya dapat terjaga dengan baik. Jenis *cage* yang menjadi fokus dalam thesis ini adalah *floating cage and semisubmersible system* dimana yang nanti akan dianalisis struktur akuakultur yang terapung dan struktur akuakultur semi terapung sedangkan tidak untuk struktur yang tenggelam dikarenakan belum dipakai di industri.

3.3.3 Daerah Operasi

Daerah operasi penempatan budidaya ikan / akuakultur ikan tuna di Indonesia adalah untuk seluruh wilayah lautan Indonesia akan tetapi rencana desain struktur ini akan diletakkan didaerah selatan pulau jawa.

3.3.4 *Owner requirement* (untuk desain inovasi)

Desain inovasi struktur akuakultur lepas pantai dibuat berdasarkan beberapa permintaan *owner*, dimana struktur ini tidak hanya sekedar untuk budidaya ikan akan tetapi juga menjadi tempat untuk wisata bahari dengan maksud pengunjung dapat melihat kelangsungan hidup ikan budidaya serta melihat proses yang ada selama ditengah laut. Struktur ini akan didesain mampu menampung 20 orang pengunjung dengan kru diatas struktur 4 orang selain itu struktur ini diharapkan memiliki respon gerak yang baik dan juga stabil karena apabila gerakan oleng (*rolling* dan *pitching*) terlalu besar akan membuat pengunjung tidak nyaman hingga menyebabkan mabuk laut (*Sea sickness*)

3.3.5 Permodelan geometri struktur

Model untuk 3 desain struktur akuakultur yang ada saat ini serta struktur inovasi akan didesain dalam bentuk 3 dimensi karena nantinya akan dilakukan analisis respon gerak serta kekuatan kelelahannya. Permodelan desain keempat struktur tersebut dibatasi oleh volume keramba yang sama agar dapat dibandingkan dari segi performa strukturnya. Dalam memodelkan struktur ini yang perlu diperhatikan adalah ukuran *floaters* (struktur pengapung) dimana diameter dan ketebalan yang digunakan harus sesuai dengan spesifikasi yang ada di industri saat ini. Ukuran yang dipakai menggunakan sistem perhitungan kondisi dimana struktur bisa mengapung sesuai dengan konsep Archimedes dan pemilihan ukurannya dilakukan berulang-ulang sampai mendapatkan jumlah daya apung yang sesuai dengan sarat struktur sama dengan berat struktur itu sendiri.

3.3.6 Analisis respon gerak

Dalam menganalisis performa operasi suatu sistem akuakultur, perlu dilakukan suatu analisis numerik baik dari segi respon gerak ditengah laut namun dengan menggunakan sistem konfigurasi tambat yang direncanakan. Konfigurasi tali tambat yang digunakan untuk semua struktur sama dimana kedalaman serta koordinat buoy yang simetris. Akan tetapi panjang dari buoy menuju struktur akan berbeda dikarenakan bentuk setiap struktur berbeda serta ukuran diameternya berbeda pula.

3.3.7 Analisis kekuatan lelah

Umur kelelahan suatu struktur merupakan hal yang penting dalam proses mendesain suatu bangunan yang akan dioperasikan di tengah laut, analisis ini dilakukan untuk masing-masing struktur dengan menginput besaran gaya tali tambat yang dihasilkan pada tiap-tiap struktur. Gaya tarik tali tersebut akan menghasilkan reaksi tegangan pada tiap-tiap sambungan yang kritis pada struktur akuakultur, dari sekian banyak jenis sambungan yang ada pada struktur tersebut maka diambil beberapa jenis sambungan yang memiliki nilai tegangan terbesar lalu setelah itu data tersebut diolah menggunakan metode *cumulative damage* secara deterministik untuk mengetahui umur pada sambungan tersebut akibat beban gelombang pada ketinggian dan periode yang terjadi selama kurun waktu yang dianalisis.

BAB 4.

DESAIN AKUAKULTUR LEPAS PANTAI

4.1 Desain Akuakultur di Indonesia

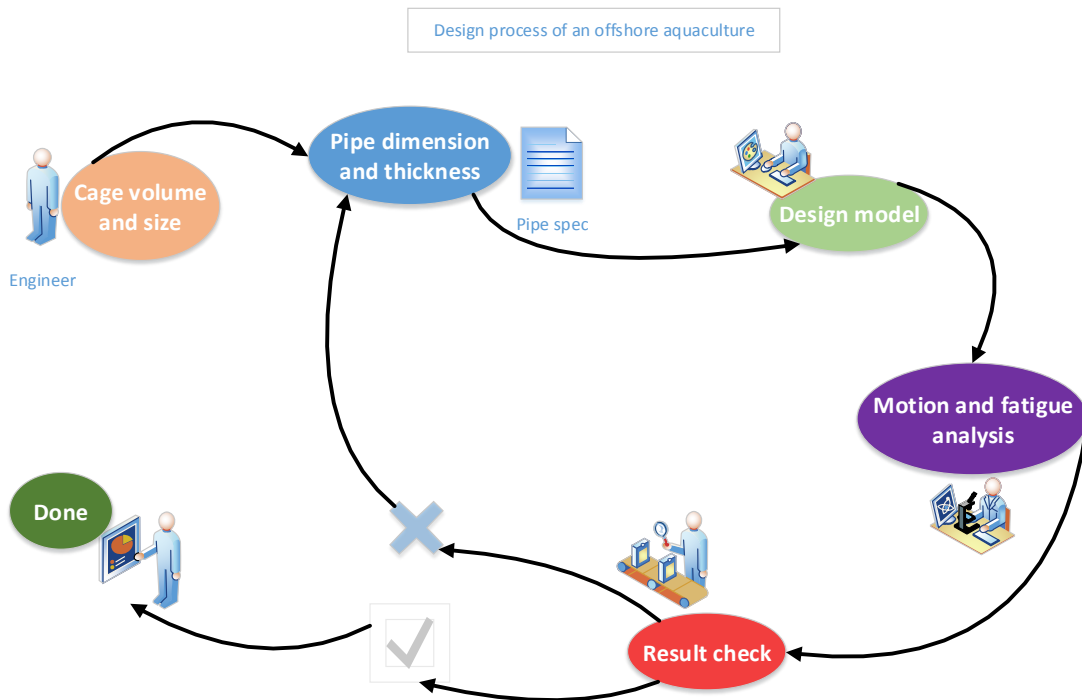
Akuakultur di Indonesia belum seberapa maju dibandingkan di luar negeri, baik dari segi ukuran maupun teknologinya. Keramba Jaring Apung (KJA) merupakan ciptaan dalam negeri namun ukurannya masih sangat kecil dan diletakkan tidak jauh dari garis pantai oleh karena itu budidaya ikan tersebut dinilai masih minim dari segi produksi maupun nilai ekonominya dan juga jenis ikan yang dibudidayakan. Struktur KJA yang ada di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1. Keramba jaring apung dan kolam bundar milik Indonesia

(Sumber : www.aquatec.co.id)

Tahapan dalam mendesain sebuah *offshore cage aquaculture* dimulai dari menentukan ukuran *cage* yang akan dimulai seperti besar volume yang ingin dibuat setelah itu memilih ukuran dimensi pipa (*floaters*) serta ketebalan sesuai spesifikasi yang ada. Pada tahap selanjutnya adalah mendesain dengan ukuran tersebut lalu dilakukan analisis, apakah *bouyancy* sudah cukup serta pastikan dimana struktur tidak tenggelam lalu dibuat konfigurasi *mooring* dan juga lakukan analisis olah gerak serta kelelahannya dimana ukuran serta dimensi yang digunakan sudah layak. Alur pembuatan *offshore cage aquaculture* dapat dilihat pada gambar Gambar 4-2.



Gambar 4-2 Ilustrasi proses pembuatan akuakultur lepas pantai

4.1.1 Volume Keramba

Perkembangan sistem keramba modern sudah dilakukan selama 20-30 tahun terakhir yang perkembangannya juga bersamaan dengan naiknya tren industri pada peternakan salmon. Beberapa keramba awalnya didesain untuk penggunaan diperairan air tawar dan berbahan dari kayu/*polystyrene*, *buoy* dan ada yang berbahan baja atau plastik. Untuk peternakan salmon dalam skala besar sekarang ini biasanya berdiameter 100 m dengan volume mulai dari 10 – 20.000 m³ dan membutuhkan biaya 5euro/m³ untuk keramba yang telah dipasang dengan jaring dan *mooring*.²⁴

Untuk kapasitas volume keramba yang diambil adalah 6000 m³ yaitu rata-rata dari volume yang ada untuk keramba semi-sub dan *submerged*. Karena untuk *floating cage* ukurannya akan terlalu besar dengan pertimbangan inovasi desain yang akan dibuat adalah *semisubmerged cage*. Ukuran tersebut dianggap maksimal untuk di Indonesia mengingat gelombang laut dan arusnya juga tidak terlalu besar serta ukuran ikan yang besar tidak terlalu ekstrim. Variasi ukuran volume keramba dari beberapa jenis yang ada dapat dilihat pada Tabel 4-1.

²⁴ D.C.B. Scott and J.F Muir, “Offshore Cage Systems - A Practical Overview.”

Tabel 4-1 Karakteristik variasi volume *offshore aquaculture*

Cages System	Size	Shape	Volume
<i>Floating cage system</i>			
Floating flexible cages	160 m diameter & 20 m depth	squares, hexagons or Octagons	>40.000 m ³
Floating rigid cages	126 m long, 32 m wide	squares	12 x 2000 m ³
<i>Semi-submersible cages</i>			
Refa	-	Trapezium cages	up to 10000 m ³
Farmocean	-	Umbrella framework with 6 steel tubes	2500 to 6000 m ³ widely used 3500 m ³
Ocean spar sea station	-	Single central steel tube vertical spar	3000 - 8000 m ³
<i>Submerged cages system</i>			
Submerged cages	-	Sphere, cylinder, umbrella double-sided	1000-5500 m ³

4.2 Permodelan Akuakultur dan Inovasi Desain

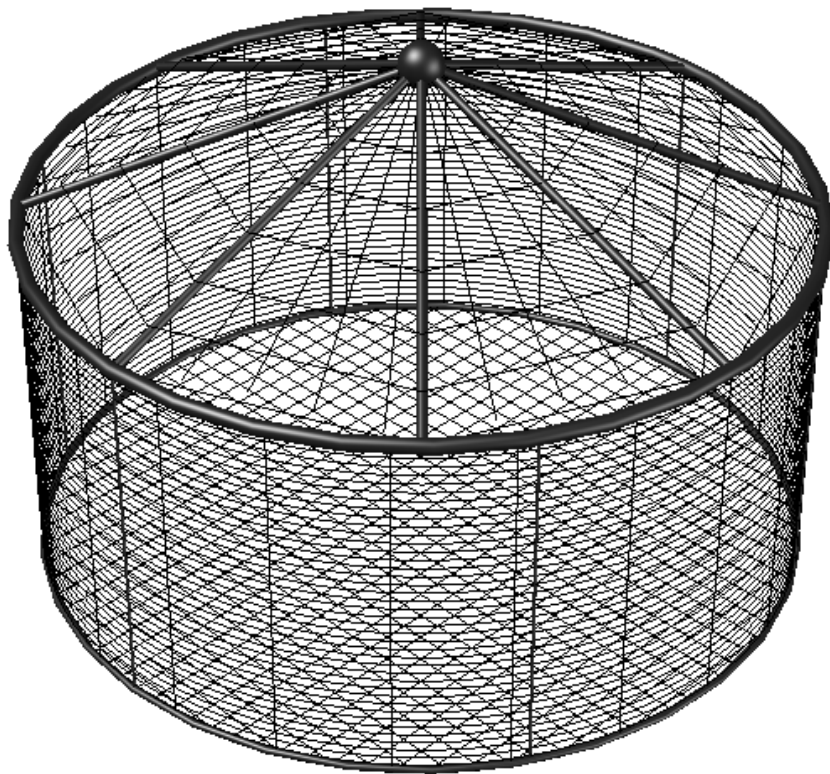
Draft (sarat) struktur dihitung menggunakan perhitungan manual dan divalidasi menggunakan software *maxsurf v20* (*Bentley product*). Dengan menginput titik berat yang telah dihitung sebelumnya. Ukuran utama dan berat dari masing-masing struktur akuakultur dari keempat jenis desain dapat dilihat pada penjelasan sub-bab 4.2.14.2.24.2.3 dan 4.2.4.

4.2.1 FarmOcean

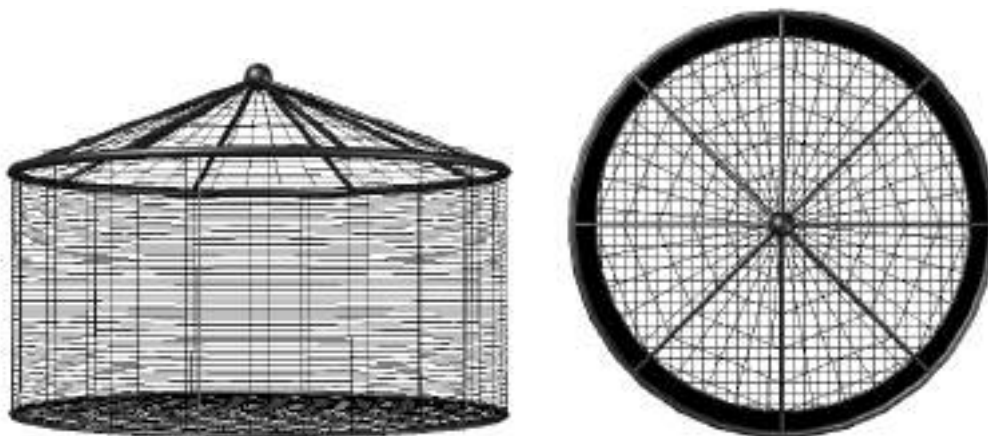
Struktur ini merupakan desain yang telah ada di luar negeri dan sudah ada beberapa yang telah dioperasikan, ukuran utama struktur ini adalah:

<i>Diameter cage</i>	: 25	m
<i>Depth</i>	: 12	m
<i>Volume cage</i>	: 6029. 048	m ³
VCG total	: 10.659	m
Weight	: 17.645	ton

Bentuk struktur FarmOcean serta tampak isometrik, depan dan atas dapat dilihat pada Gambar 4-3 dan Gambar 4-4.



Gambar 4-3 Isometric view model FarmOcean



Gambar 4-4 Front and top view FarmOcean

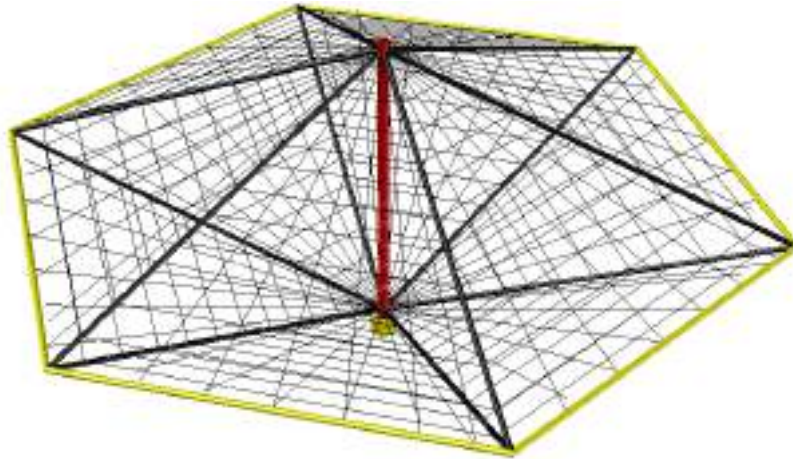
4.2.2 SeaStation

Struktur ini merupakan desain yang telah ada di luar negeri namun belum banyak terbukti berhasil di industri, ukuran utama struktur ini adalah:

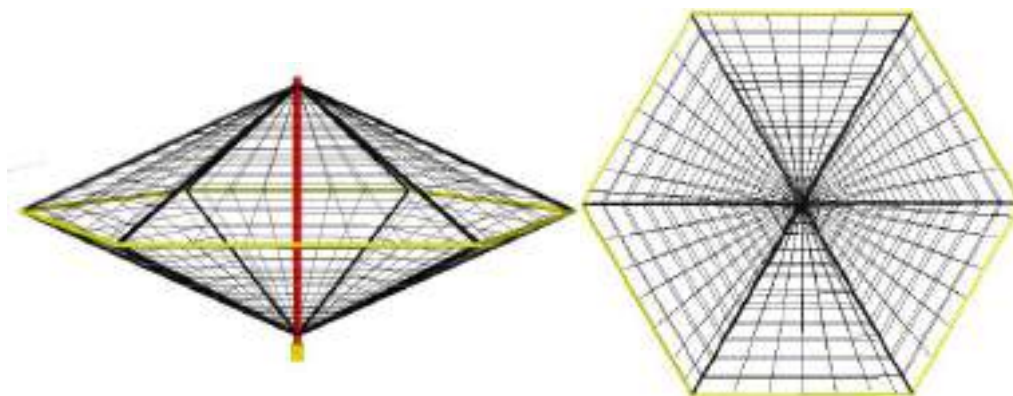
<i>Diameter cage</i>	: 42	m
<i>Depth</i>	: 16	m
<i>Volume cage</i>	: 7392	m ³
<i>Volume at draft</i>	: 6342.248	m ³

VCG total : 4.6 m
 Weight : 26.469 ton

Bentuk dari struktur SeaStation dapat kita lihat pada Gambar 4-5 dan Gambar 4-6.



Gambar 4-5 Isometric view model SeaStation



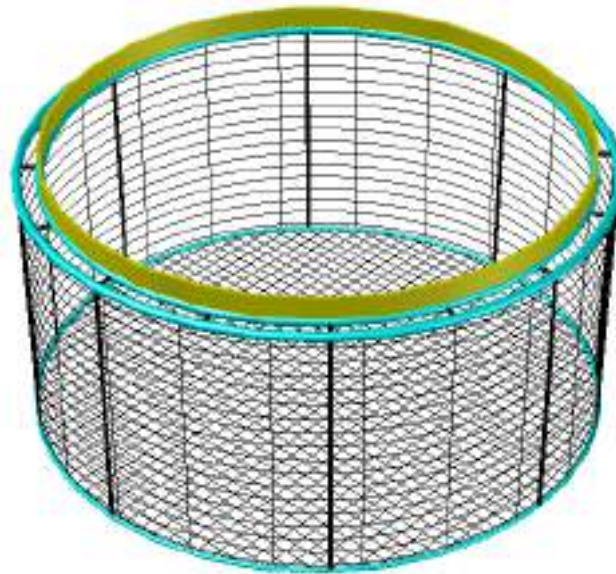
Gambar 4-6 Front and top view SeaStation

4.2.3 Collar Cage

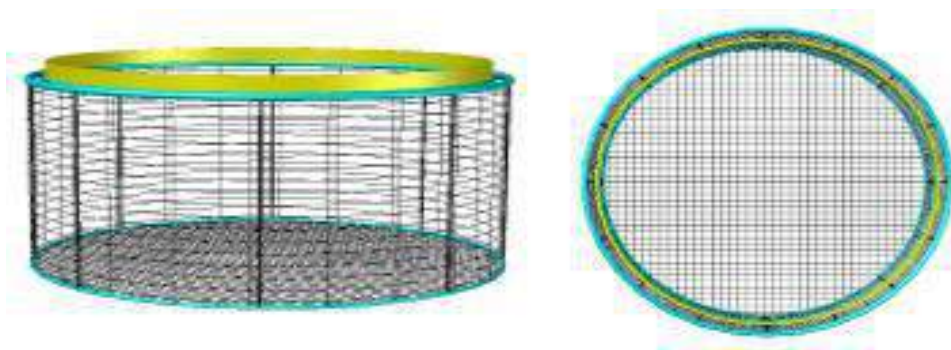
Collar Cage merupakan desain yang sederhana dan struktur ini banyak digunakan di Jepang untuk budidaya ikan tuna, ukuran utama struktur ini adalah:

Diameter cage : 26 m
Depth : 12 m
Volume cage : 6373.714 m³
 VCG total : 8.221 m
 Weight : 21.057 ton

Desain dari struktur Collar Cage dapat dilihat pada Gambar 4-7 dan Gambar 4-8.



Gambar 4-7 Isometric view model standard floating cage



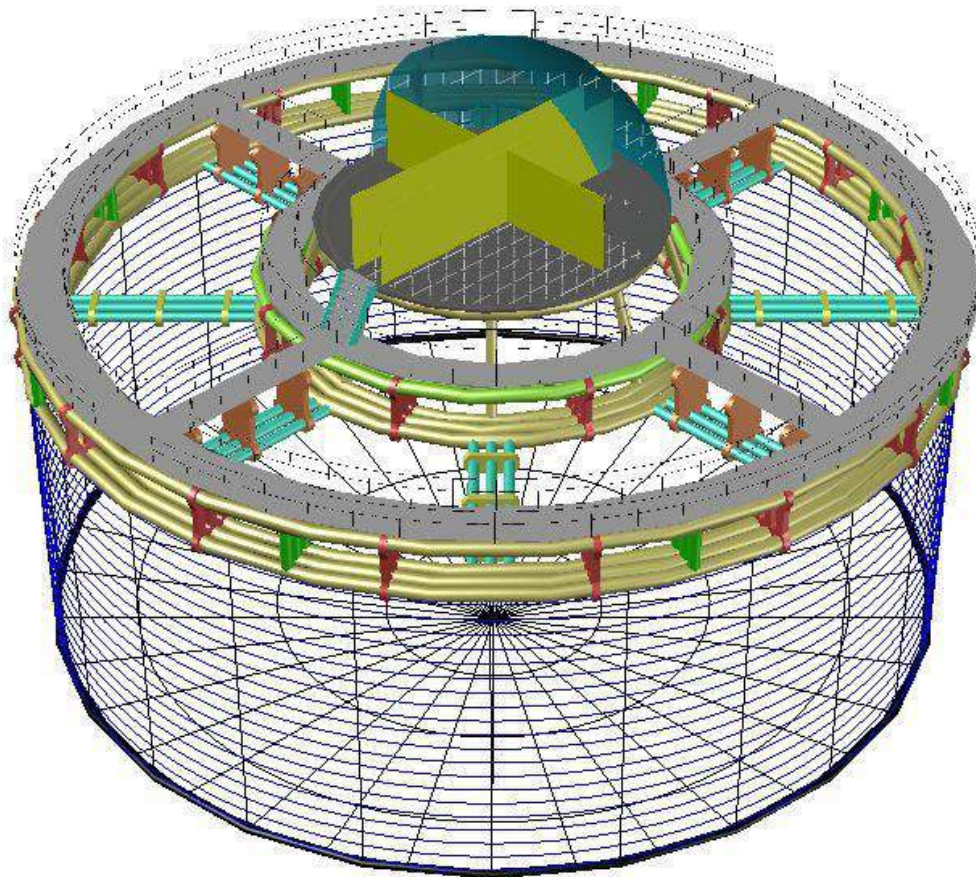
Gambar 4-8 Front and top view standard floating cage

4.2.4 Ocean-FarmITS

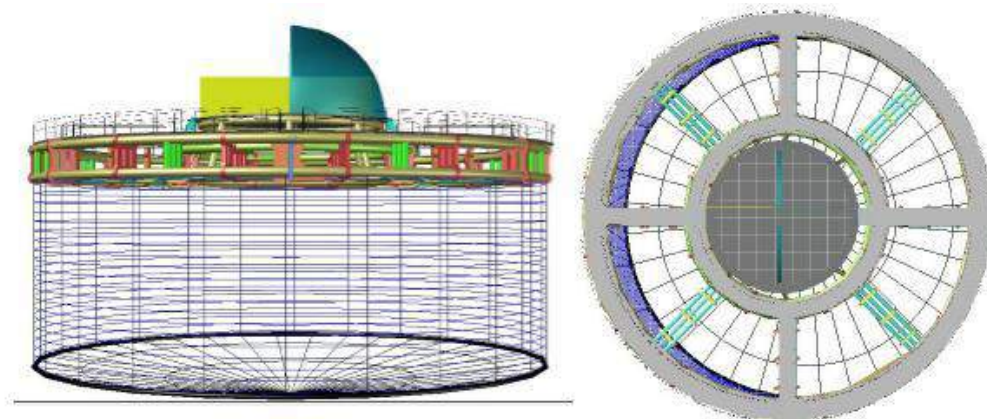
Struktur ini merupakan inovasi untuk desain akuakultur di Indonesia, Ukuran utama struktur ini adalah:

<i>Diameter cage</i>	: 28	m
<i>Depth</i>	: 11,75	m
<i>Volume cage</i>	: 6160	m ³
VCG total	: 10,374	m
Weight	: 62,483	ton

Desain inovasi ini diberikan akses jalan untuk memudahkan personel memeriksa ikan serta menjadi tempat wisata nantinya agar wisatawan juga dapat melihat langsung budidaya ikan yang ada, struktur Ocean-FarmITS dapat dilihat pada Gambar 4-9 dan Gambar 4-10.



Gambar 4-9 Isometric view model Ocean-FarmITS



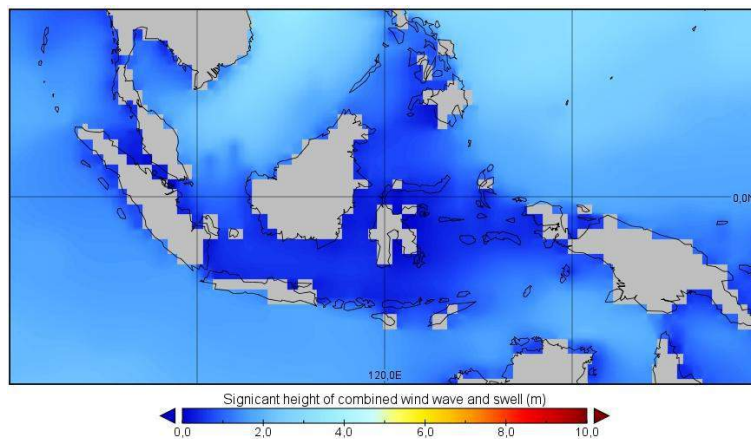
Gambar 4-10 Front and top view Ocean-FarmITS

Akomodasi ruangan-ruangan ditengah struktur dapat dijadikan ruang berlindung dari cuaca serta menyimpan peralatan untuk keperluan budidaya ikan.

4.3 Beban Lingkungan dan Kondisi Pembebanan

4.3.1 Gelombang Indonesia

Tinggi gelombang signifikan dan sebarannya di Indonesia dimulai dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2017 dapat dilihat pada Gambar 4-11.



Gambar 4-11 Significant wave height of combined wind waves and swell 2012-2017

²⁵(sumber: <https://www.ecmwf.int/>)

Sedangkan untuk sebaran data gelombang yang ada dilaut indonesia serta peluang kejadian gelombang yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 4-2.

Tabel 4-2 Sebaran data gelombang di laut Indonesia

H (m)	T (sec)										Total
	5,75-7,8	14,74-16,39	11,61-12,45	12,46-13,46	9,29-10,02	10,8-11,6	8,57-9,28	7,81-8,56	10,03-10,79	13,47-14,7	
0,92-1,64	261	0	56	6	1278	273	984	512	946	0	4316
1,65-2,03	204	0	419	85	1901	1246	1339	686	1087	7	6974
2,04-2,45	113	2	753	264	1697	1522	1359	682	1715	32	8139
2,46-2,89	52	4	658	318	1206	957	785	301	1110	72	5463
2,9-3,38	2	10	474	280	480	626	220	60	473	95	2720
3,39-4,03	0	15	131	112	51	105	23	7	49	111	604
										$\Sigma =$	24892

Tinggi gelombang laut di Indonesia bervariasi yaitu dimulai dari tinggi 0.92 m sampai dengan 4.03 m sedangkan untuk periode gelombangnya yaitu mulai dari 5.75 detik sampai 14.7 detik. Jumlah total kejadian gelombang yang terjadi adalah sebanyak 24,892 kali.

4.3.2 Pembebanan Respon gerak

Diantara beberapa jenis konfigurasi *mooring* untuk akuakultur lepas pantai yang ada yaitu: *rectangular array*, *linear array*, *independent 4 point moorings*, and *single point mooring*

²⁵ “//www.Ecmwf.Int/.”

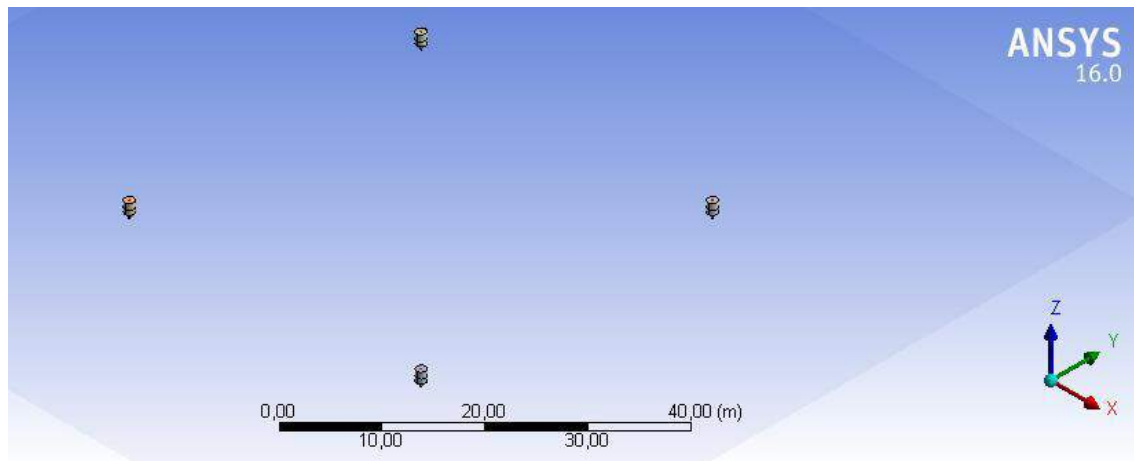
array. Dari keempat jenis *mooring* yang telah dianalisis tersebut, *rectangular array* merupakan yang paling baik hal ini dikarenakan konfigurasi tersebut menghasilkan *mooring tension* yang paling kecil serta memberikan respon perpindahan struktur (*offset*) yang tidak besar pula²⁶. Oleh karena itu pada desain Ocean FarmITS digunakan sistem *assymetrical mooring rectangular array*. Untuk ke 4 struktur yang dianalisis digunakan sistem mooring yang sama dengan posisi untuk buoy serta posisi anchor fixed point yang sama dikarenakan ukuran diameter struktur dari semua model struktur yang dianalisis tidak terlalu jauh besarnya. Titik kordinat global X,Y dan Z pada analisis respon gerak yang menggunakan bantuan *software* ini terdapat pada tengah-tengah struktur akuakultur dimana sumbu Z merupakan sumbu vertikal dalam bidang X dan Y. Dalam analisis ini digunakan 4 buoy untuk pengikatan tambat struktur dan juga jangkar tetap yang diletakkan pada dasar laut, koordinat tersebut dapat dilihat pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Buoy and anchor fixed point coordinates.

Bouy coordinate		Moor anchor fixed point		
x	20	x	20	30
y	20	y	30	30
		z	-90	-90
x	20	x	20	30
y	-20	y	-30	-30
		z	-90	-90
x	-20	x	-20	-30
y	20	y	30	20
		z	-90	-90
x	-20	x	-20	-30
y	-20	y	-30	-20
		z	-90	-90

Dalam konfigurasi ini terdapat 4 buoy dengan berat 112 kg dan memiliki bouyancy 0.9 ton, dimana titik pusat koordinat global x,y,z ditengah-tengah struktur. Jarak dari tengah struktur terhadap tiap-tiap buoy sama yaitu sejauh 20 m kearah melintang dan 20 m ke arah memanjang, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4-12.

²⁶ “Perancangan Sistem Mooring Dan Analisa Olah Gerak Struktur Aquaculture Model Seastation Untuk Laut Lepas Indonesia.”



Gambar 4-12 4 Buoy terpasang dengan koordinat simetris

Pengikatan untuk *mooring* pada struktur dilakukan pada *floater* atau *pontoon* apungnya, dengan cara mengikatnya memutar baik untuk *floater* 1 lapis ataupun *floater* 3 lapis dengan mengkaitkannya antara *floater* yang satu dengan *floater* yang lain. Hal ini dapat dilihat pada gambar Gambar 4-13



Gambar 4-13 Mooring pada struktur offshore aquaculture

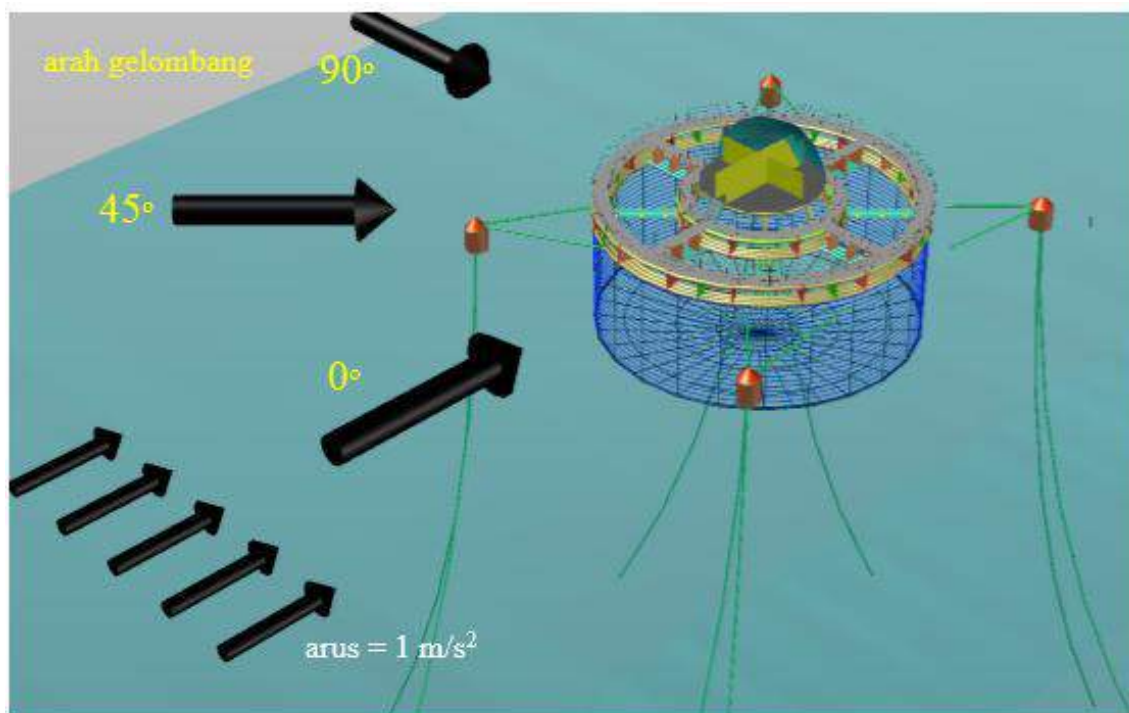
(sumber: aquaculture operations in floating HDPE cage)

Jenis tali mooring yang digunakan adalah nylon SN81-120220-DY²⁷ dengan spesifikasi:

Mass/Unit Length	: 8,87 kg/m
Equivalent Cross Section	: 0,001338 m ²
Stiffness, EA	: 22602240 N
Minimum Breaking Load	: 2501500 N
Equivalent Diameter	: 120 mm

²⁷ Mordec, "Syntetic Ropes."

Arah gelombang dan arus untuk analisis respon gerak struktur model akuakultur menggunakan metode numerik dapat dilihat pada Gambar 4-14.



Gambar 4-14 Arah gelombang dan arus pada analisis respon gerak

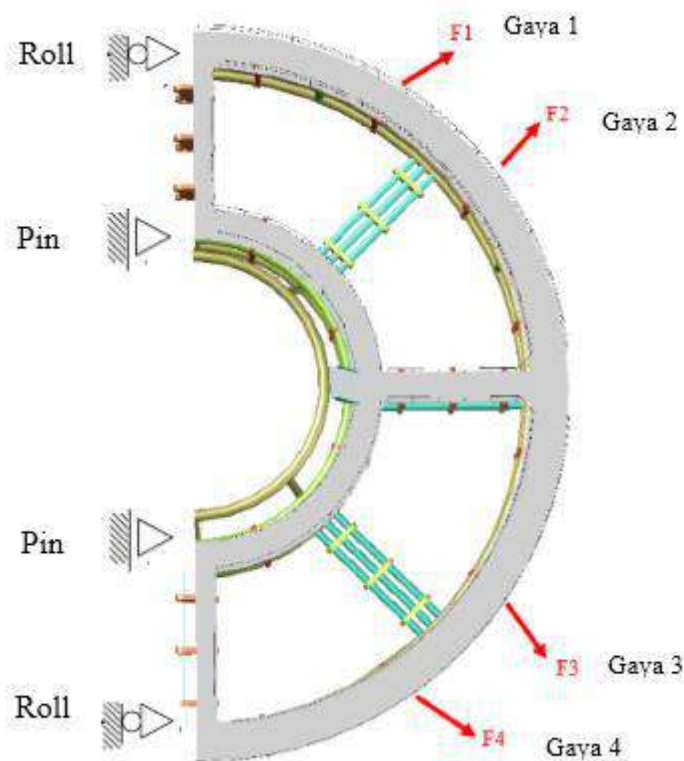
Arus yang diberikan sebesar 1 m/s^2 untuk ketiga arah yang berbeda yaitu 0 derajat, 45 derajat dan 90 derajat, namun arusnya tetap dari arah 0° sedangkan periode gelombangnya 5,75 detik sampai 14,7 detik. Data input untuk permodelan numerik akan dijelaskan pada bagian analisis respon gerak.

4.3.3 Kondisi batas untuk analisis kekuatan lelah dengan elemen hingga

Saat melakukan analisis struktur untuk mencari tegangan nominal digunakan metode elemen hingga dengan bantuan komputer namun struktur yang dimodelkan hanya sebagian karena struktur akuakultur yang simetri. Pemberian tumpuan dilakukan dengan meletakkan 2 jenis tumpuan yaitu:

1. Tumpuan sendi untuk 12 tubular yang ada ditengah struktur dengan 6 tubular disebelah kiri dan 6 tubular disebelah kanan.
2. Tumpuan roll untuk struktur tubular terluar dengan 6 tubular di sebelah kiri dan 6 tubular sebelah kanan.

Dalam analisis ini berat struktur akuakultur yang berbahan HDPE dimasukan sesuai dengan berat yang ada, kondisi tumpuan pada model ini dapat dilihat pada Gambar 4-15.

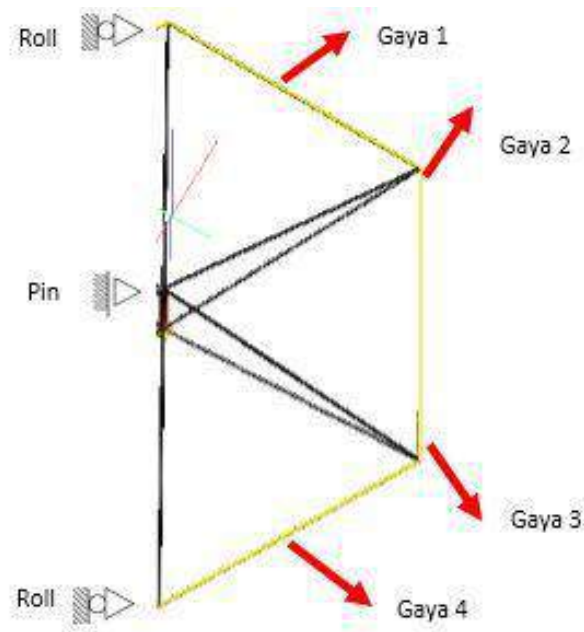


Gambar 4-15 Tumpuan pada struktur akuakultur menggunakan elemen hingga

Terdapat 4 gaya tarik yang diberikan dimana tali tambat diikat pada *floater* bagian atas dan arah gaya tersebut sesuai dengan konfigurasi *mooring* yang telah didesain. Gaya tarik tersebut diantaranya:

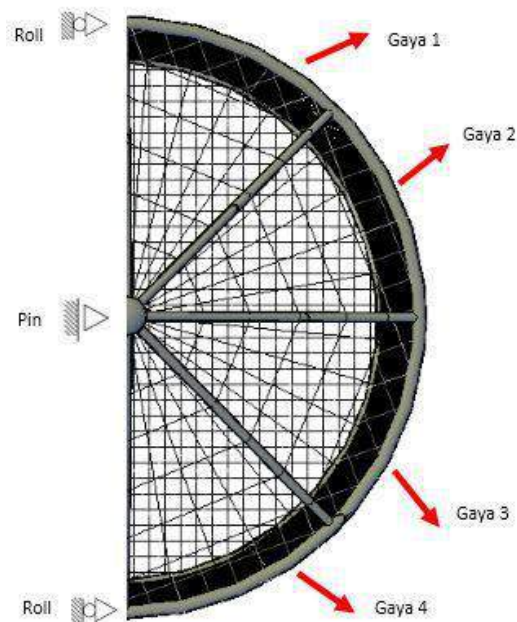
- F1 : Gaya tegangan maksimum pada tali 1 yang terjadi dalam kurun waktu yang ada.
- F2 : Gaya tegangan rata-rata pada tali 2 yang terjadi.
- F3 : Gaya tegangan rata-rata pada tali 3 yang terjadi.
- F4 : Gaya tegangan rata-rata pada tali 4 yang terjadi.

Untuk ketiga desain lainnya yaitu SeaStation, Collar Cage dan FarmOcean memiliki jenis gaya yang sama namun ada beberapa tumpuan yang berbeda. Sedangkan untuk gaya yang diberikan pada struktur dikenakan pada *floater*. Kondisi batas SeaStation dapat dilihat pada Gambar 4-16.



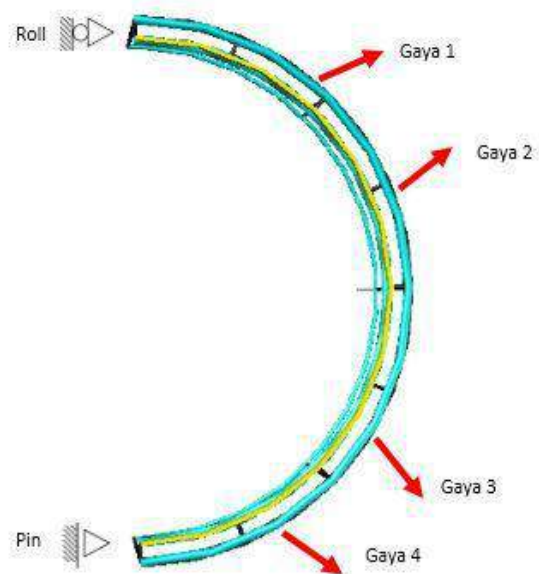
Gambar 4-16 Kondisi batas untuk SeaStation dengan gaya dan tumpuannya

Karena semua struktur menggunakan konfigurasi *mooring* yang sama maka dari itu gaya gaya yang diberikan juga sama ada 8 tali namun karena struktur dibagi menjadi dua maka gaya yang diberikan hanya 4. Untuk penggambaran kondisi batas FarmOcean dan Collar Cage dapat dilihat pada Gambar 4-17 dan Gambar 4-18.



Gambar 4-17 Kondisi batas analisa tegangan normal pada FarmOcean

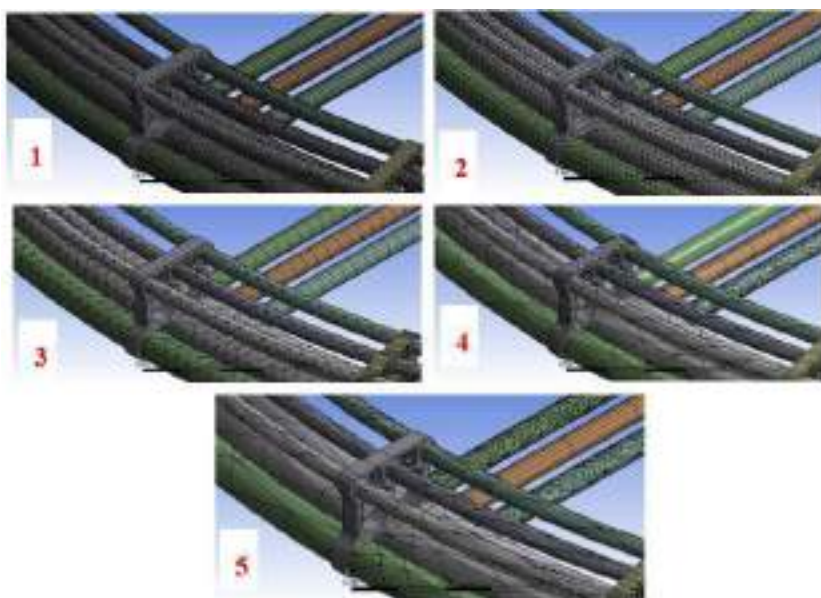
Collar Cage tidak ada struktur tengah pusat lingkaran maka dari itu struktur tersebut dianggap salah satu tumpuannya roll dan bagian yang satunya pin.



Gambar 4-18 Kondisi batas pada struktur Collar Cage untuk analisis tegangan normal

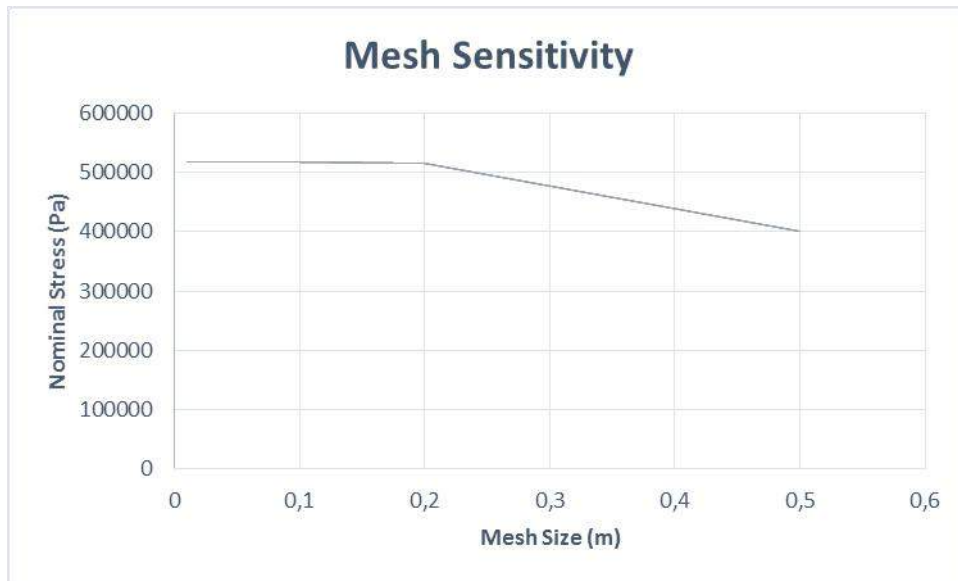
Pada proses permodelan elemen hingga, *walkway* dan *railing* tidak dimodelkan karena dalam analisis ini hanya memodelkan struktur utama pengapung serta *bracket* yang telah diletakkan sedemikian rupa dan jumlahnya yang genap serta simetri.

Mesh sensitivity dilakukan agar dapat mengetahui dimana validitas sebuah hasil perhitungan / analisis, dimana perubahan ukuran meshing akan mencapai titik tidak sensitif lagi dalam nilai tegangannya. Oleh karena itu hal ini sangat penting dalam menganalisis sebuah permodelan dalam menghitung menggunakan program bantu komputer, ukuran meshing dari struktur akuakultur ini dapat dilihat pada Gambar 4-19.



Gambar 4-19 Meshing size in meter 0,01 (1) 0,05 (2) 0,1 (3) 0,2 (4) 0,5 (5)

Grafik sensitivitas sebuah *meshing* pada beberapa variasi ukuran mulai dari 0,01 meter sampai dengan 0,5 meter dapat dilihat pada Gambar 4-20.



Gambar 4-20. Mesh Sensitivity on stress analysis by using ANSYS static structural

Nilai tegangan nominal yang dihasilkan mulai dari ukuran *meshing* 0,01 meter sampai 0,2 meter tidak mengalami perubahan yang signifikan dengan kata lain ukuran *meshing* diantara rentan besaran tersebut dapat diterima.

4.4 Jenis Material

4.4.1 HDPE (High Density Poly Ethylene)

High Density Poly Ethylene (HDPE) merupakan material termoplastik dimana disediakan oleh manufaktur dalam bentuk yang sudah siap digunakan selain itu HDPE memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibanding dengan jenis plastik lain. Jenis plastik ini memiliki sifat lebih tahan benturan dan lebih kaku, HDPE memiliki *density* sebesar 59.88 lbs/ft³ atau 0.958 ton/m³ dengan titik leleh 259-267 °F atau sekitar 126.11 °C. Pengaplikasian HDPE pada produk yang sudah ada dipasaran diantaranya digunakan untuk bahan baku tandon air, kontainer makanan dan pipa instalasi bawah tanah. *Grade* yang tepat untuk pipa manufaktur adalah PE 63, PE 80 dan PE 100. Pipa manufaktur ini mengubah material HDPE ini menjadi *pressure pipe*.²⁸

²⁸ Marley Pipe System Ltd., “HDPE Physical Property (Marley Pipe System).”

Sifat mekanis untuk *grade* HDPE yang digunakan pada standar pipa manufakrut dapat dilihat pada tabel diatas. Desain temperatur untuk pipa HDPE adalah bersuhu 20°C dan *working pressure* pada pipa ini biasanya digunakan pada suhu tersebut akan tetapi akan bekerja lebih baik pada suhu dibawahnya dan faktanya memiliki ketahanan lebih tinggi dibawah suhu tersebut.

Tensile yield strength : 26.000.000 Pa

Compressive yield strength : 31.700.000 Pa

Tensile ultimate strength : 31.700.000 Pa

Sifat mekanis dari material jenis *High Density PolyEthilene* baik dari massa jenis, viskositas, laju titik leleh, kuat tariknya, kekerasan, kekakuan dan lain-lainnya dapat dilihat pada Tabel 4-4.

Tabel 4-4 Sifat Mekanis *High Density Poly Ethylene*

Property		Value	Unit	Test Method	Test Specimen
Density at 23°C		0.958	g/cm³	ISO 1183	10mm x 10mm x 4mm
Viscosity Number		380	ml/g	ISO 1628-3	0.1% solution of granules in decahydronaphthalene
Melt Flow Rate	MFR 190/5	0.23	g/10min	ISO 1133	granules sample weight 3g to 6g
	MFR 190/21.6	6.5	g/10min		
Tensile Properties	Yield Stress	26	N/mm²	ISO 527, Test Rate 50mm/min	ISO 3167, 4mm thick (test specimen no. 3, 4mm thick according to DIN 53 455
	Enlonggation at Yield Stress	10	%	ISO 527, Test Rate 50mm/min	
	Tensile modulus of Elasticity (secant between 0.05 & 0.25% strain)	900	N/mm²	ISO 527	
	Tensile Creep Modulus (1 hour value)	650	N/mm²	ISO 899, Test Load 2M/mm²	
	Tensile Creep Modulus (1000 hour value)	350	N/mm²		
Flexural Properties	Flexural Creep Modulus (1 min value)	1100	N/mm²	DIN 54852-Z4 ob=2N/mm²	110mm x 10mm x 4mm loaded flat
	Flexural Stress (3.5%deflection)	20	N/mm²	ISO 178, Test Rate 2mm/min	80mm x 10mm x 4mm
Stiffness in Torsion		180	N/mm²	DIN 53447	60mm x 6.35mm x 3mm
Hardness	Ball Indentation Hardness	41	N/mm²	ISO 2039 part 1 Test Load 132N	4mm sheet
	Shore Hardness D (3 sec value)	61	~	ISO 868	6mm sheet
	Shore Hardness D (15 sec value)	59	~		
Nothed Impact Strength acN (test specimen from compression moulded sheet)	at 23°C	20	kJ/m²	ISO 179/1eA	80mm x 10mm x 4mm
	at -30°C	10	kJ/m²		
Vicat softening Point VST/B/50		67	°C	ISO 306	4mm sheet
Oxidation Induction Time	200°C in O₂	>=60	min	ISO TR 10837	granules

Ukuran-ukuran pipa HDPE yang digunakan dalam merancang sebuah akuakultur di Indonesia menggunakan data dari produsen di Indonesia, pipa HDPE sendiri memiliki ketentuan dimana apabila ukuran diameter yang ingin kita pakai maka sudah ditentukan

ketebalannya yang ada dipasaran. Jadi dalam hal ini perlu dilakukan beberapa pengulangan perhitungan untuk mencari ukuran diameter pipa yang sesuai dengan desain yang ada. Spesifikasi diameter dan ketebalan pipa HDPE ini dapat dilihat pada Tabel 4-5.

Tabel 4-5 Spesifikasi teknis pipa HDPE Indonesia

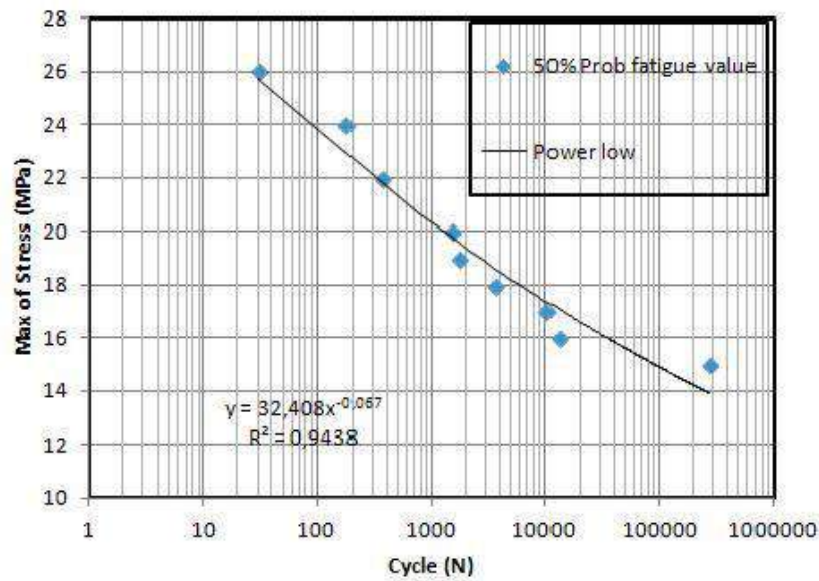
(sumber: indopipe.com)

<i>Outer Dia</i>	<i>Wall thickness</i>	<i>Inner Dia</i>	<i>Outer Dia</i>	<i>Wall thickness</i>	<i>Inner Dia</i>
20	-	-	200	7.7	184.5
25	-	-	225	8.6	207.7
32	-	-	250	9.6	230.7
40	1.6	36.7	280	10.7	258.6
50	2	45.9	315	12.1	290.7
63	2.4	58	400	15.3	369.3
75	2.9	69.1	450	17.2	415.5
90	3.5	82.8	500	19.1	461.7
110	4.3	101.2	630	24.1	581
140	5.4	129.1	710	27.2	655.6
160	6.2	147.5	800	30.6	738.8
180	6.9	166.2	900	34.4	831.65
			1000	38.2	924.1

Tabel diatas merupakan spesifikasi teknis yang ada di pasaran untuk pipa HDPE yang ada di Indonesia.

Untuk perhitungan kelelahan (*fatigue*) diperlukan data SN Curve untuk pipa HDPE, literatur yang digunakan adalah jurnal yang berdasarkan eksperimen²⁹. SN Curve berdasarkan ASTM speciemen dalam penelitiannya untuk HDPE dapat dilihat pada Gambar 4-21.

²⁹ Benseddiq N., “Uniaxial Fatigue of HDPE-100 Pipe (Experimental Analysis).”



Gambar 4-21 SN Curve HDPE based on experiment

(sumber: Uniaxial Fatigue of HDPE-100 Pipe (Experimental Analysis) - Journal Article)

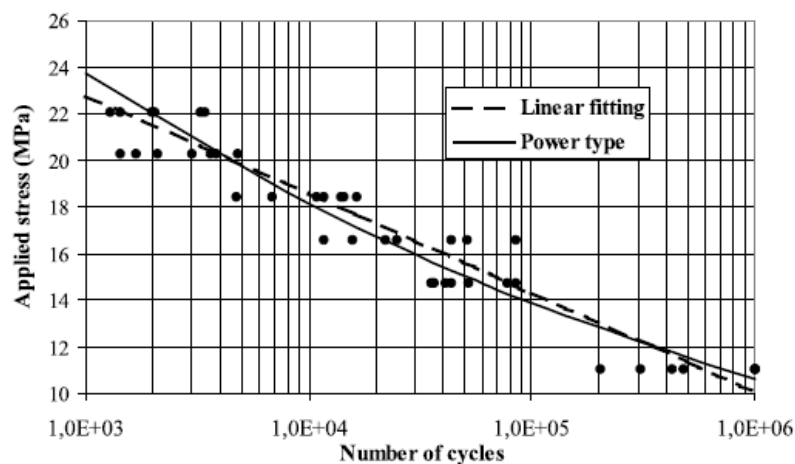
Tegangan maksimum pada kurva SN dapat dihitung menggunakan persamaan Basquin dimana:

$$S_{\max} = 32,46 N^{-0,067} \dots \dots \dots (4.1)$$

S_{\max} : Tegangan maksimum yang terjadi

N : Jumlah siklus yang terjadi.

Selain itu terdapat juga eksperimen yang dilakukan menggunakan specimen standar ISO menggunakan metode *linear fitting* dengan SN Curve seperti Gambar 4-22.



Gambar 4-22 SN curve HDPE based on experiment menggunakan metode linear fitting

Rumus yang digunakan pada eksperimen ini adalah sebagai berikut:³⁰

$$S = 35,6 - 1,85 \ln(N) \dots\dots\dots (4.2)$$

$$N S^{8,6} = 6,7 \times 10^{14} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dari 3 eksperimen yang dilakukan maka dibandingkan nilai tegangan berdasarkan rumus yang ada, dari 3 metode tersebut didapatkan hasil untuk masing-masing dengan jumlah siklus yang sama dimana yang akan digunakan adalah metode *linear fitting* dengan spesimen dipakai berdasarkan ISO 527 karena tegangan yang didapatkan lebih besar dibandingkan kedua metode lainnya yang menggunakan standar spesimen ASTM D-638. Perbandingan nilai tegangan yang dihasilkan pada ketiga metode yang ada dapat dilihat pada Tabel 4-6.

Tabel 4-6 Perbandingan 3 metode yang dipakai untuk HDPE

N (Cycle)	Basquin equation (MPa)		(MPa)
	50 % prob fatigue	Wohler 50 % failure	Linear fitting
50	24,976	24,710	28,363
100	23,842	23,572	27,080
1000	20,434	20,156	22,821
10000	17,513	17,234	18,561
100000	15,009	14,737	14,301
1000000	12,863	12,601	10,041
Specimen	ASTM D-638	ASTM D-638	ISO 527
Size	6 mm thickness	6 mm thickness	5 mm thickness

4.4.2 Net Cage (jaring)

Ukuran jaring yang digunakan adalah panjang 31,75 mm berukuran persegi. Penentuan jaring ini berkaitan dengan berat jaring yang akan diinput pada perhitungan berat. ukuran jaring tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-23.



Gambar 4-23 Jaring dengan ukuran mesh 31.75 mm

(sumber: <http://www.industrialnetting.com/applications/aquaculture/cage-netting.html>)

³⁰ Khelif, Chateaneuf, and Chaoui, "Statistical Analysis of HDPE Fatigue Lifetime."

4.5 Analisis Respon Gerak

Pada Tabel 4-7 telah ditentukan titik koordinat pengikatan pada masing-masing struktur, karena dengan ukuran yang berbeda serta bentuk yang berbeda titik pengikatannya akan berbeda pula, hal ini diperlukan agar dapat menentukan panjang tali *mooring* yang akan dipasang pada struktur sehingga struktur dapat terhubung antara titik jangkar ke buoy serta dari *buoy* ke struktur. Terdapat 8 titik pengikatan pada tiap-tiap struktur sesuai dengan konfigurasi *mooring* yang dipakai.

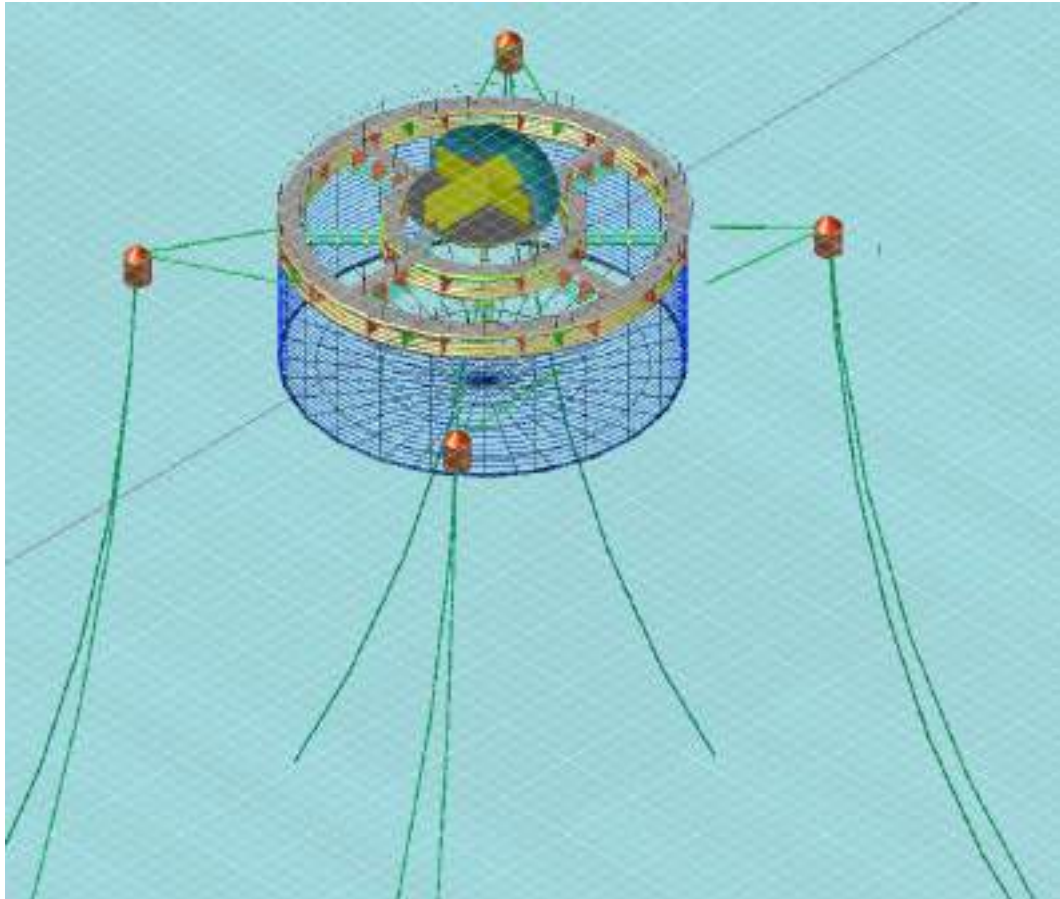
Tabel 4-7 Connection point for mooring in each structure

Coordinate (m)	Farm ocean	Ocean farmits	Sea station	Collar cage
x	10.825	12.125	15,75	12,258
y	6,25	7	9,09	6,5
x	6,25	7	10,5	6,5
y	10,825	12.125	18,186	12,258
x	10.825	12.125	15,75	12,258
y	-6,25	-7	-9,09	-6,5
x	6,25	7	10,5	6,5
y	-10,825	-12.125	-18,186	-12,258
x	-10.825	-12.125	-15,75	-12,258
y	-6,25	-7	-9,09	-6,5
x	-6,25	-7	-10,5	-6,5
y	-10,825	-12.125	-18,186	-12,258
x	-10.825	-12.125	-15,75	-12,258
y	6,25	7	9,09	6,5
x	-6,25	-7	-10,5	-6,5
y	10,825	12.125	18,186	12,258

Semua hasil respon gerak berupa gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw* didapatkan dari analisis dan nilai tersebut dihitung dari titik berat masing-masing struktur. Titik berat struktur akuakultur yang ada tersebut telah dijelaskan pada Bab 4.2 sebelumnya.

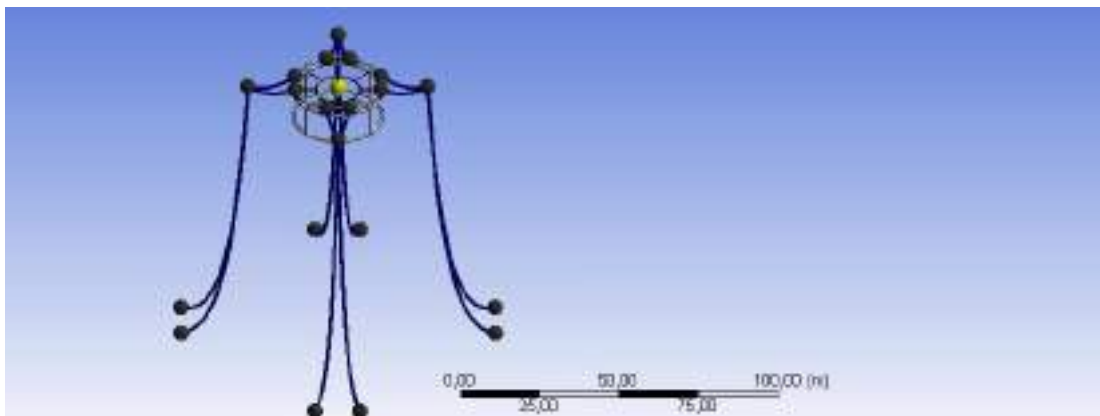
4.5.1 Ocean-FarmITS

Pada 4.3.2 telah dijelaskan mengenai kondisi pembebanan baik arah gelombang, tinggi gelombang, arah arus serta periode gelombang yang dipakai, untuk struktur Ocean-FarmITS yang merupakan desain inovasi dapat dilihat pada Gambar 4-24 bahwa konfigurasinya menggunakan 4 buoy yang mengelilingi strukturnya.



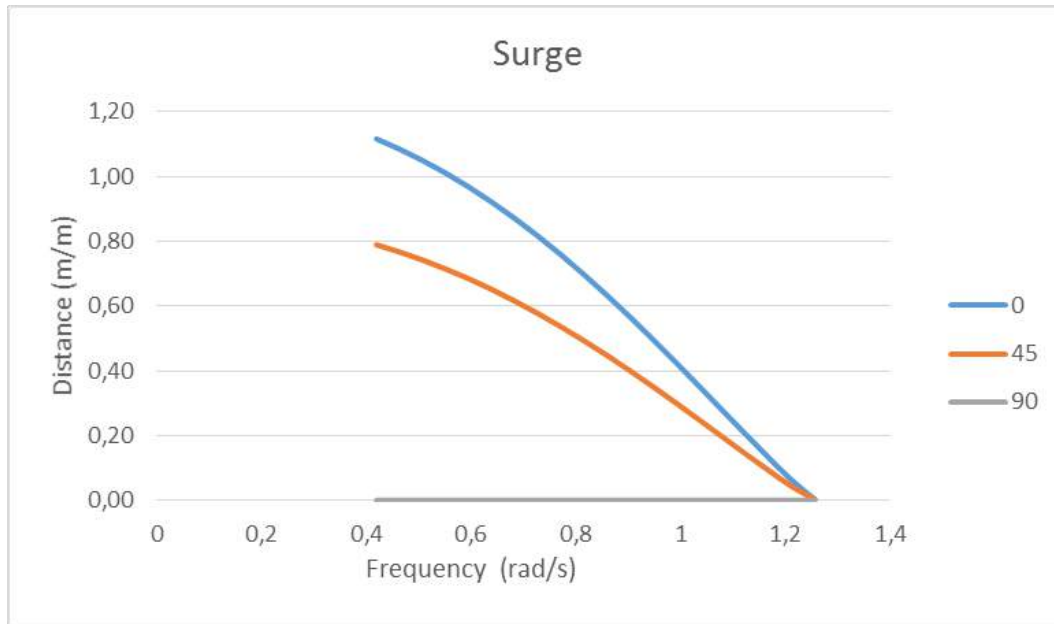
Gambar 4-24 Ilustrasi *mooring system* pada Ocean FarmITS

Perhitungan respon gerak Ocean-FarmITS dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS Aqwa seperti pada Gambar 4-25.



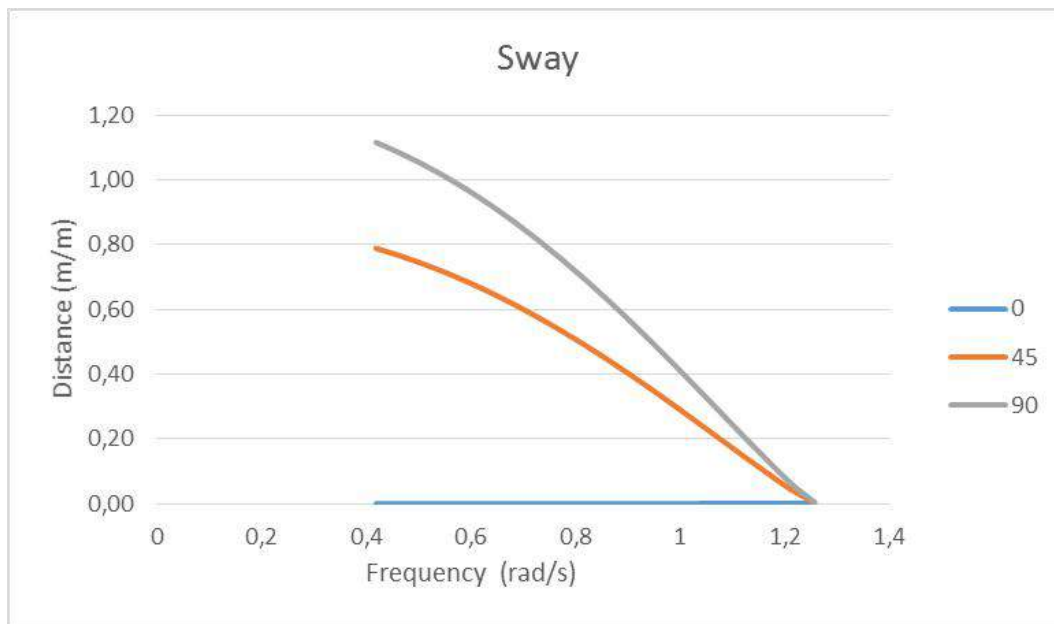
Gambar 4-25 Hydrodynamic and mooring analysis of Ocean-FarmITS

Dari analisis untuk struktur Ocean-FarmITS didapat 6 gerakan respon struktur saat *free floating* baik secara translasi maupun rotasi, hal ini dapat kita lihat pada Gambar 4-26 - Gambar 4-31.



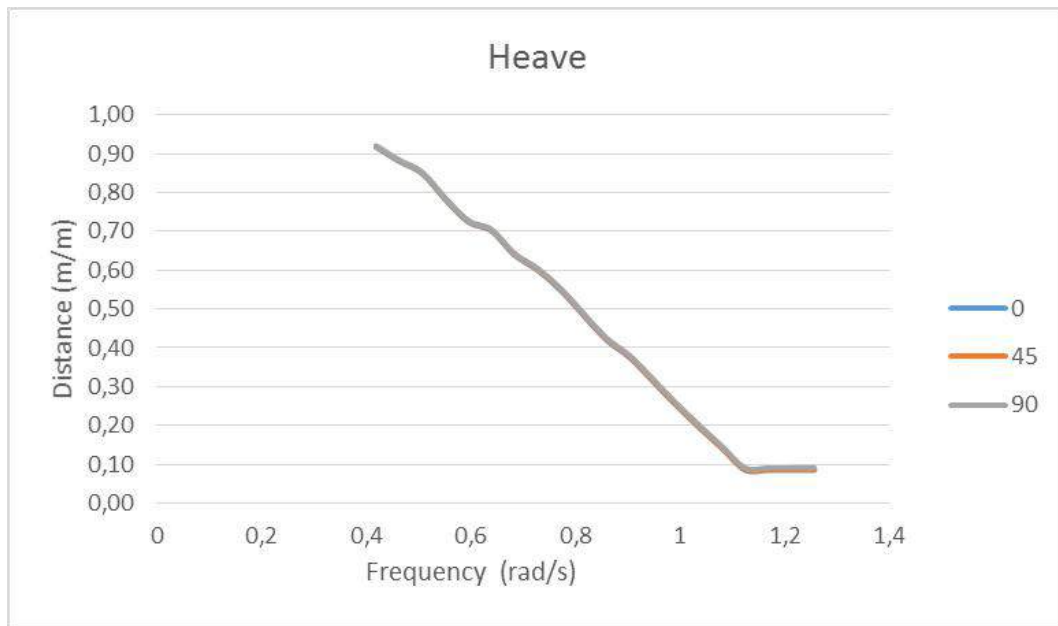
Gambar 4-26 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan surge

Respon gerakan surge terbesar terjadi saat arah 0 derajat hal ini dikarenakan gerakan ini searah dengan arah gelombang dan respon gerakan maksimum terbesarnya adalah 1,1 m/m.



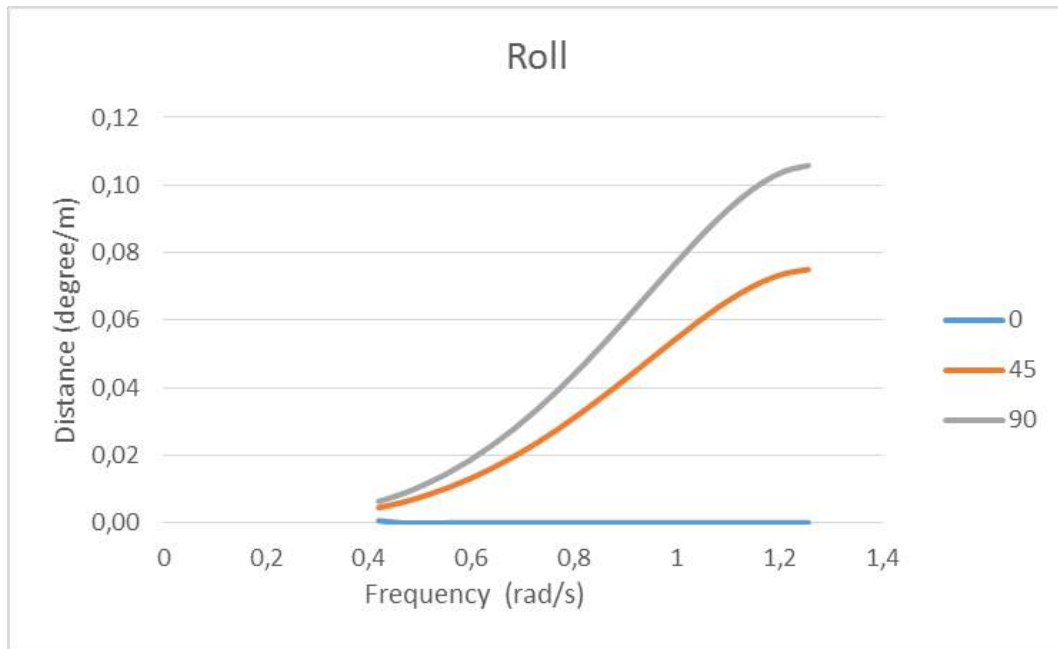
Gambar 4-27 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan sway

Sway memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan surge dikarenakan bentuk yang simetri pada struktur, arah gelombang dari 90 derajat adalah yang terbesar dengan nilai 1,1 m/m.



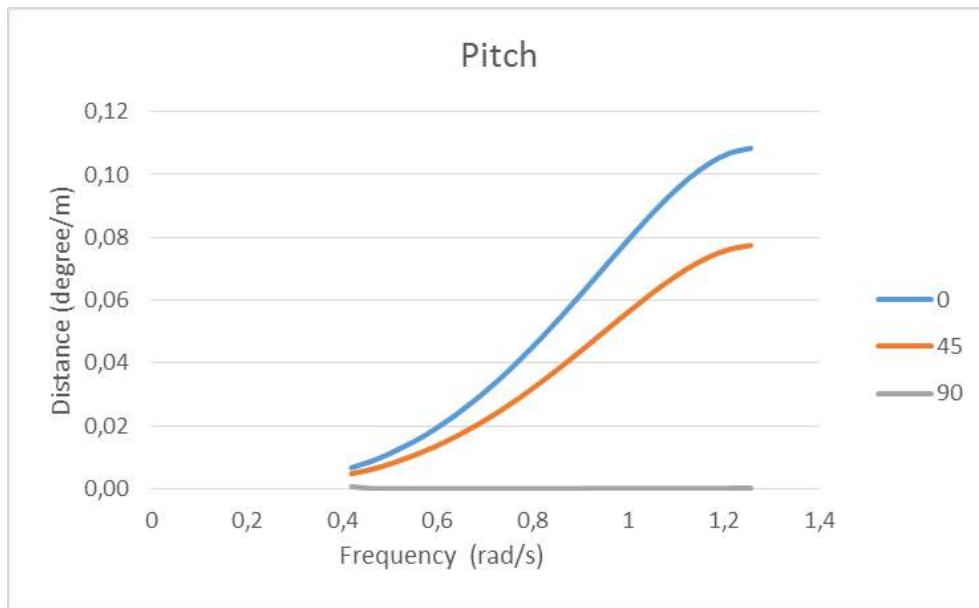
Gambar 4-28 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan heave

Respon gerak heave pada struktur simetri memiliki nilai yang sama pada tiap sudutnya, karena gerakan ini kearah sumbu vertikal dimana gerakan terbesar terjadi saat frekuensi 0,45 rad/s dengan nilai sebesar 0,92 m/m.



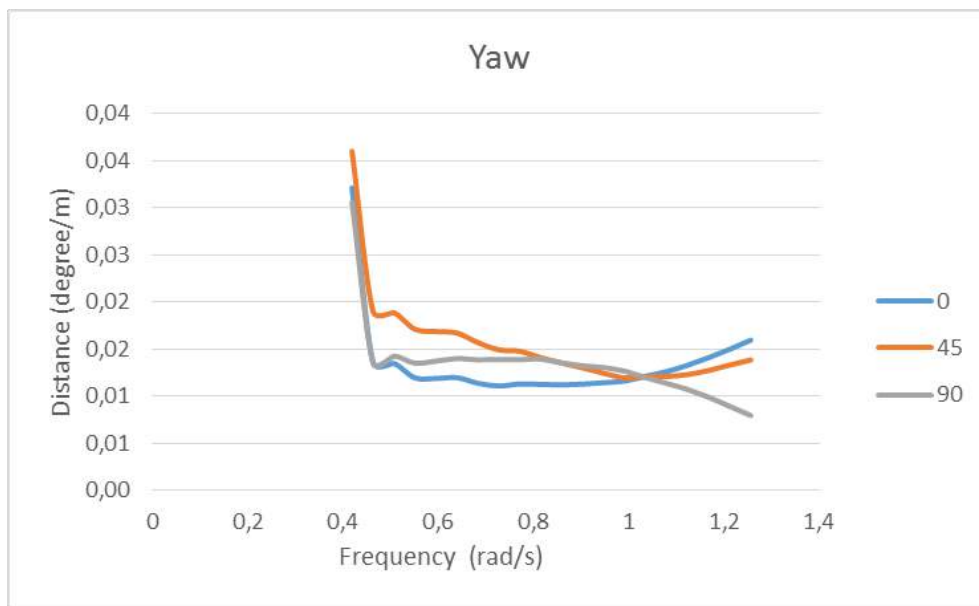
Gambar 4-29 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan roll

Roll yang merupakan gerak rotasi adalah respon struktur yang berputar, pada sudut *heading* 90 derajat respon gerak terbesar terjadi dengan nilai yang sangat kecil yaitu hanya 0,11 °/m.



Gambar 4-30 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan pitch

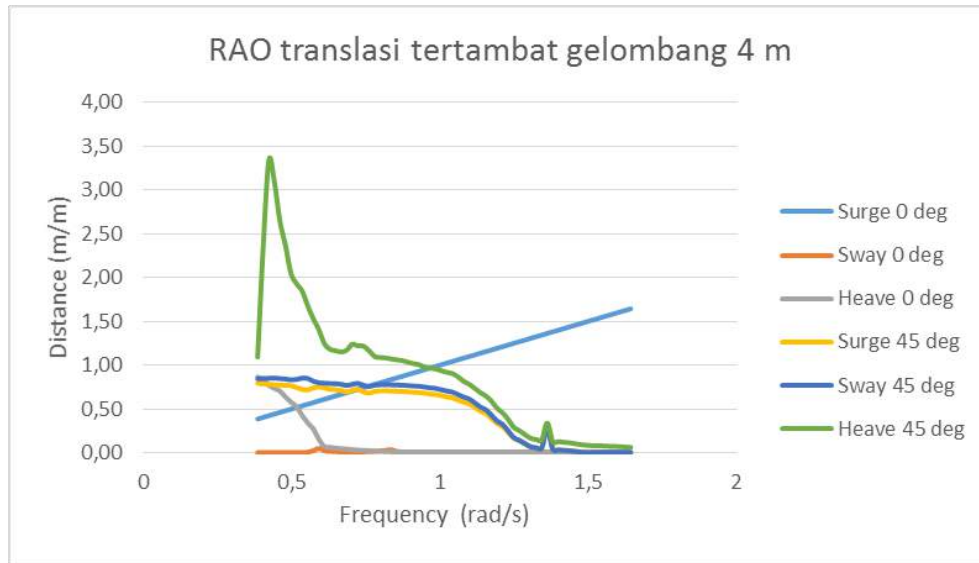
Sama halnya dengan roll, respon gerak untuk pitch bernilai sama akan tetapi dengan sudut yang berbeda yaitu 0,11 °/m pada *heading* 0 derajat.



Gambar 4-31 RAO free floating Ocean-FarmITS untuk gerakan yaw

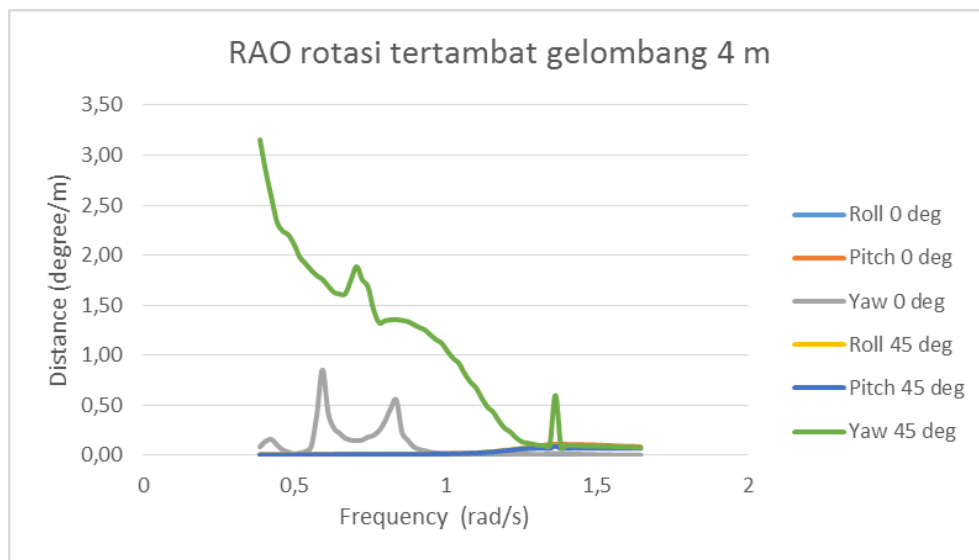
Gerak rotasi yaw pada struktur Ocean-FarmITS ini sangat kecil yaitu hanya 0,04 °/m untuk yang maksimum pada arah *heading* 45 derajat.

Sedangkan untuk respon gerak pada saat kondisi gelombang maksimum 4 m dengan struktur dalam keadaan tertambat dapat dilihat pada Gambar 4-32 dan Gambar 4-33.



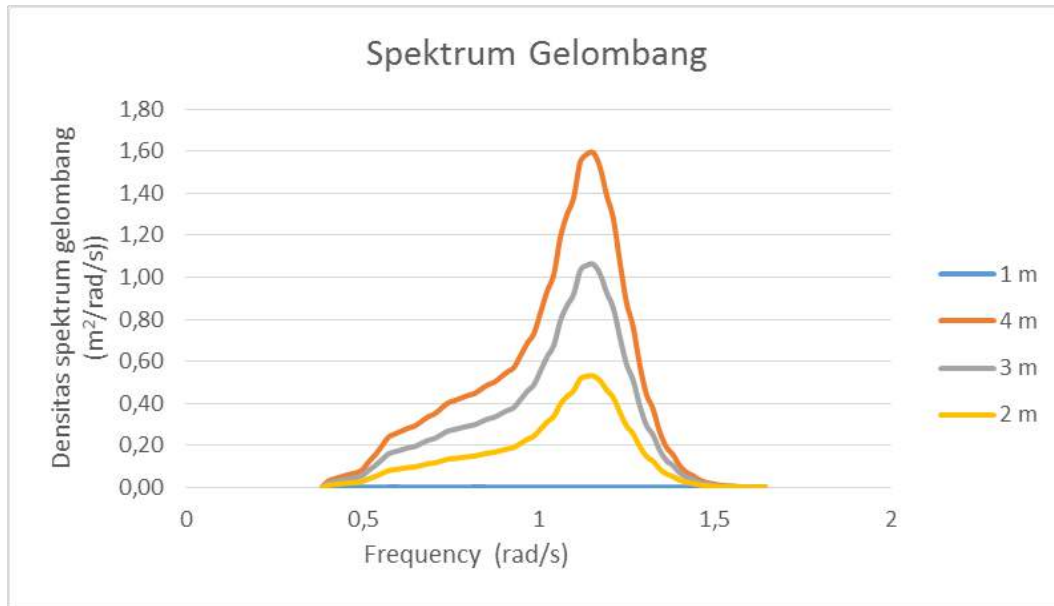
Gambar 4-32 RAO tertambat Ocean-FarmITS untuk gerakan translasi

Saat tinggi gelombang terbesar di laut Indonesia yaitu 4 m dengan kondisi struktur tertambat, respon gerak translasi terbesar terjadi pada gerakan heave yang mencapai 3,4 m/m. Melihat dari hal ini respon heave ini bisa dikatakan cukup besar dan akan membuat pekerja ataupun pengunjung diatas struktur menjadi tidak nyaman.



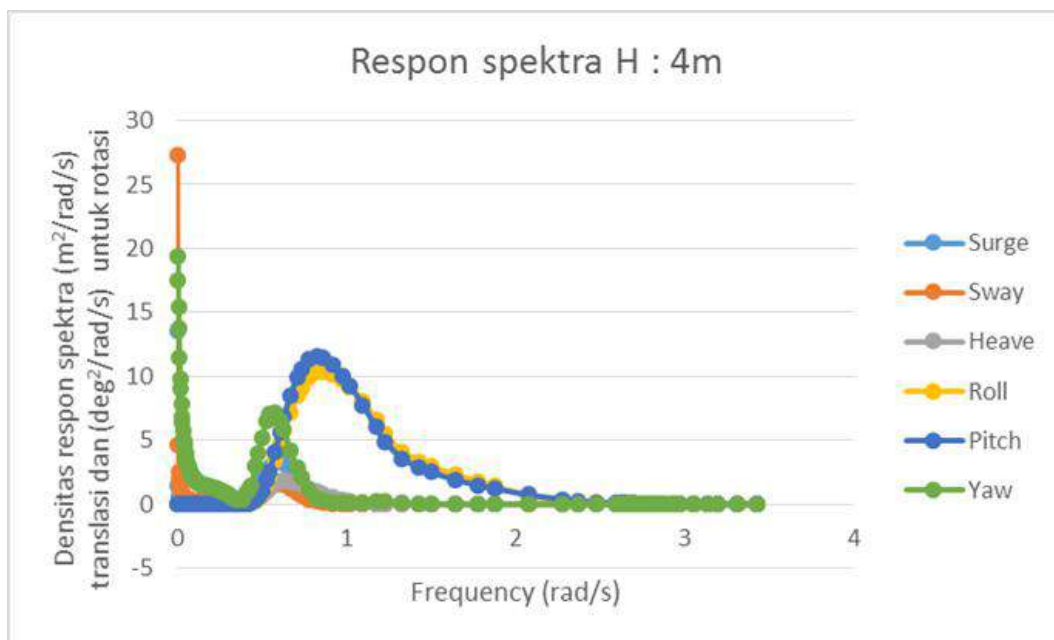
Gambar 4-33 RAO tertambat Ocean-FarmITS untuk gerakan rotasi

Respon gerak rotasi saat kondisi tertambat dengan tinggi gelombang 4 m menghasilkan respon terbesar untuk gerakan yaw dengan nilai maksimum terjadi yaitu sebesar 3,2 %/m namun untuk roll dan pitch struktur ini bisa dikatakan sangat stabil karena respon geraknya sangat kecil. Untuk spektrum gelombang pada kondisi tiap meter gelombang dari 1 m sampai 4 m dapat dilihat pada Gambar 4-34.



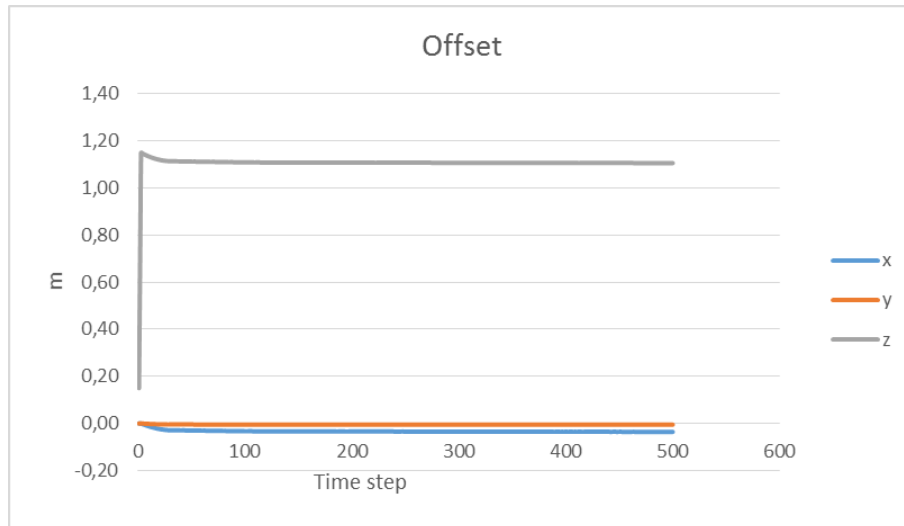
Gambar 4-34 Spektrum gelombang dalam rentan periode gelombang 5 sampai 15 detik

Respon spektra yang merupakan sebaran energi struktur saat terkena gelombang 4 meter dapat dilihat pada Gambar 4-35



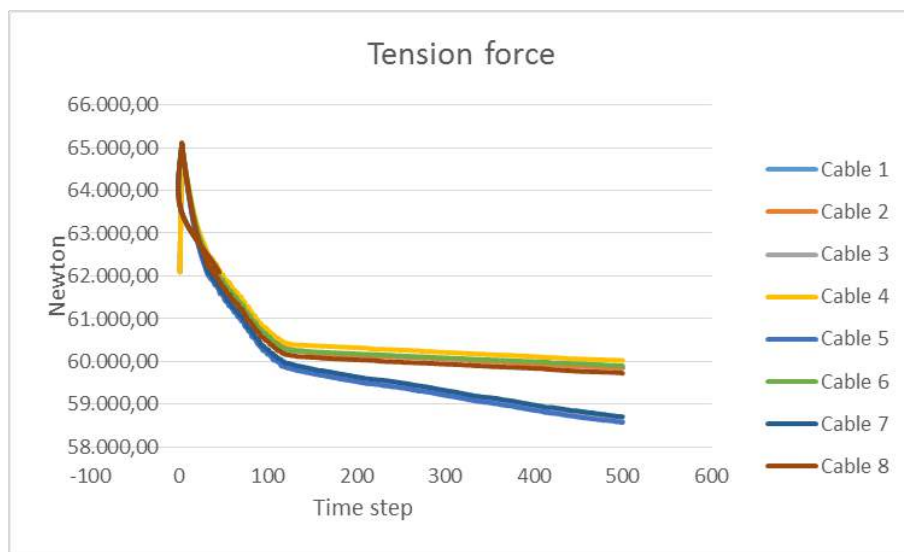
Gambar 4-35 Respon Spektra gelombang Ocean-FarmITS

Perpindahan gerakan stuktur saat kondisi tertambat (offset) pada Ocean-FarmITS dapat dilihat pada Gambar 4-36 dimana untuk gerakan surge dan sway sangat kecil karena diikat namun untuk gerakan heave cukup besar nilainya.



Gambar 4-36 Offset pada struktur Ocean-FarmITS untuk 500 langkah waktu

Gaya tegangan tali untuk 8 kabel hampir sama, tegangan terbesar terjadi mencapai 60.000 Newton dengan rata-rata pada saat *time step* awal lalu setelah itu tegangan turun secara drastis dan mulai stabil setelahnya. Hal ini terlihat pada Gambar 4-37.

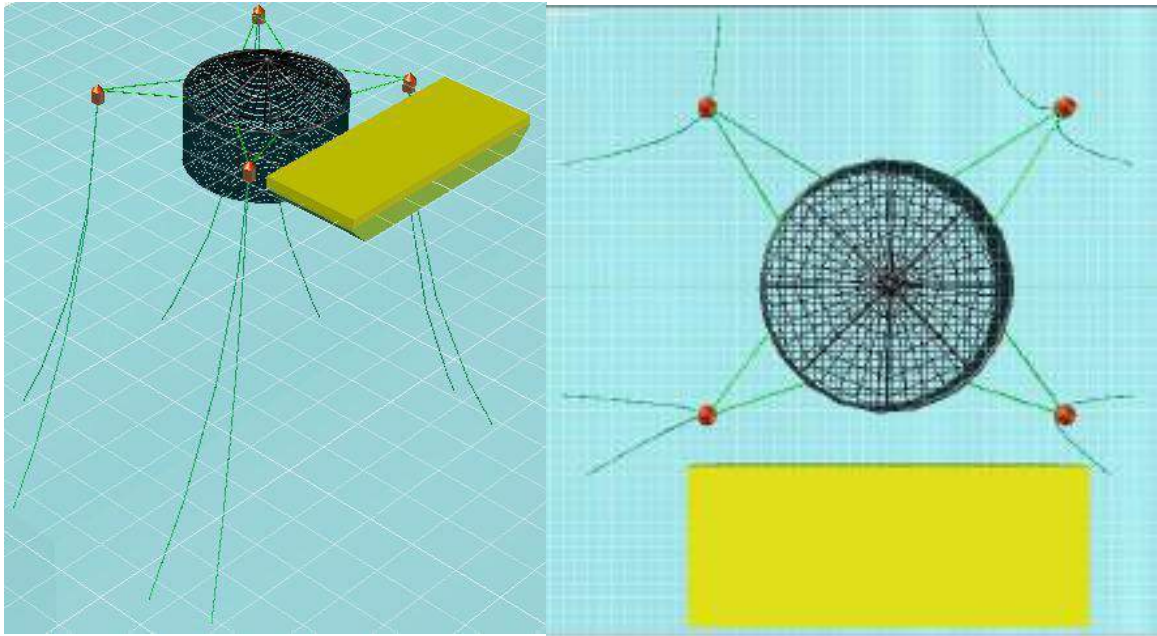


Gambar 4-37 Mooring tension pada struktur Ocean-FarmITS

Mooring tension pada struktur Ocean-FarmITS yang terbesar berkisar 3000 Newton. Dengan semua kabel memiliki nilai yang hampir sama dikarenakan konfigurasi *rectangular array* yang simetri.

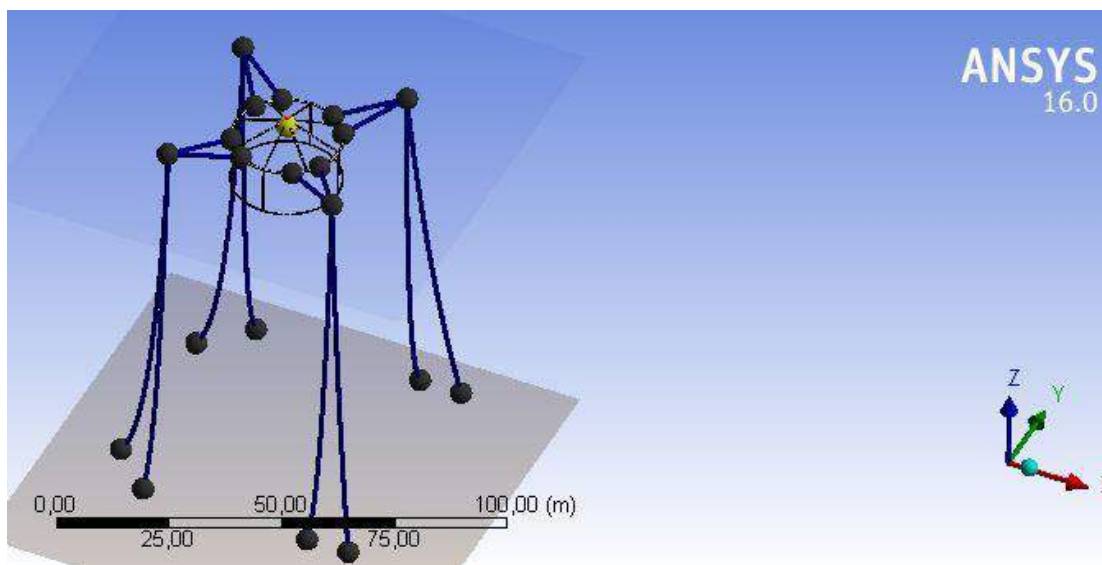
4.5.2 FarmOcean

Untuk struktur FarmOcean yang merupakan desain inovasi dapat dilihat pada Gambar 4-38 bahwa konfigurasinya menggunakan 4 buoy yang mengelilingi strukturnya.



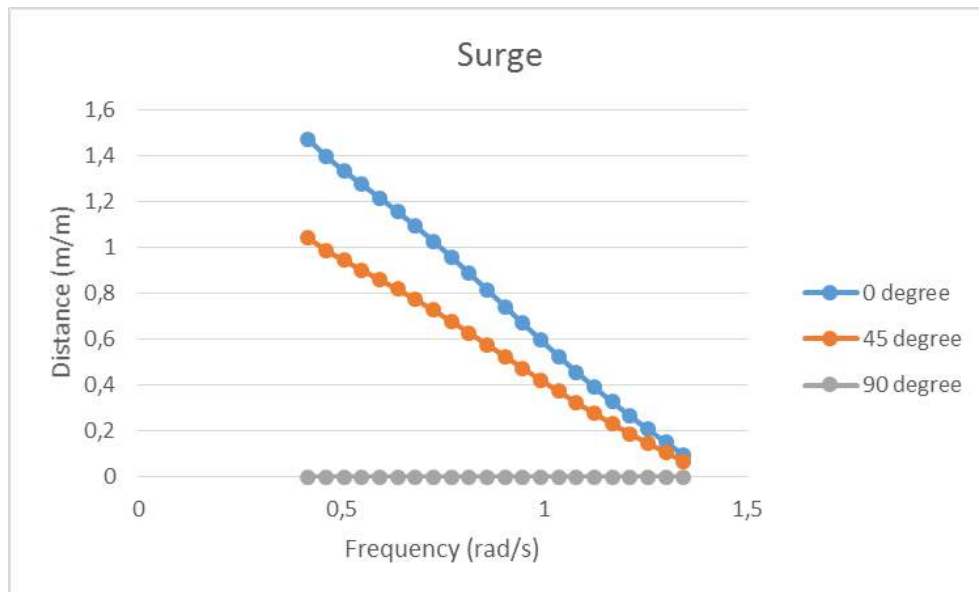
Gambar 4-38 Ilustrasi mooring untuk farm ocean.

Perhitungan respon gerak Ocean-FarmITS dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS Aqwa dengan konfigurasi *rectangular array mooring* dengan kedalaman laut 90 m dari permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 4-39.



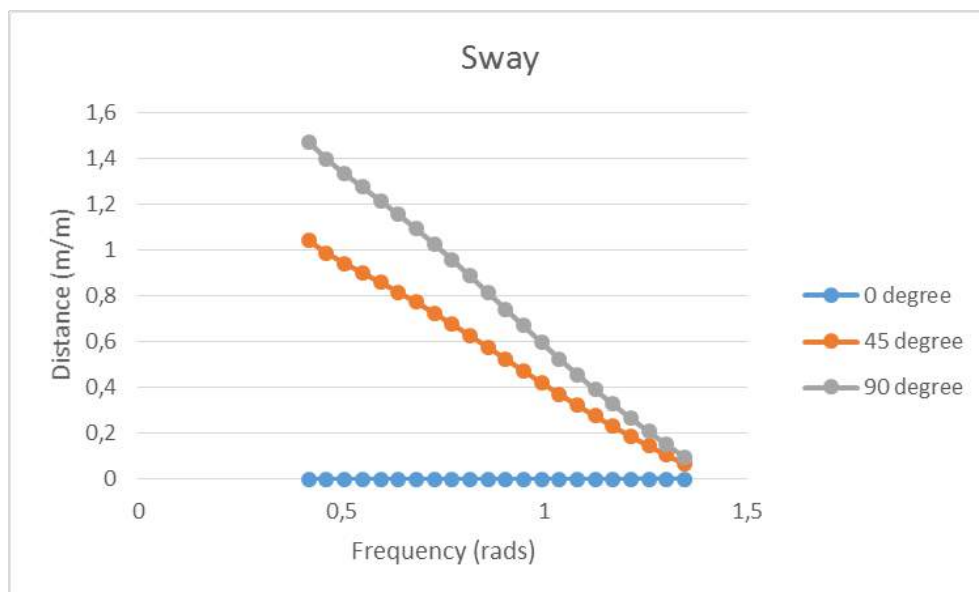
Gambar 4-39 Hydrodynamic and mooring analysis of farm ocean

Dari analisis untuk struktur Ocean-FarmITS didapat 6 gerakan respon struktur saat *free floating* baik secara translasi maupun rotasi, hal ini dapat kita lihat pada Gambar 4-40 - Gambar 4-46.



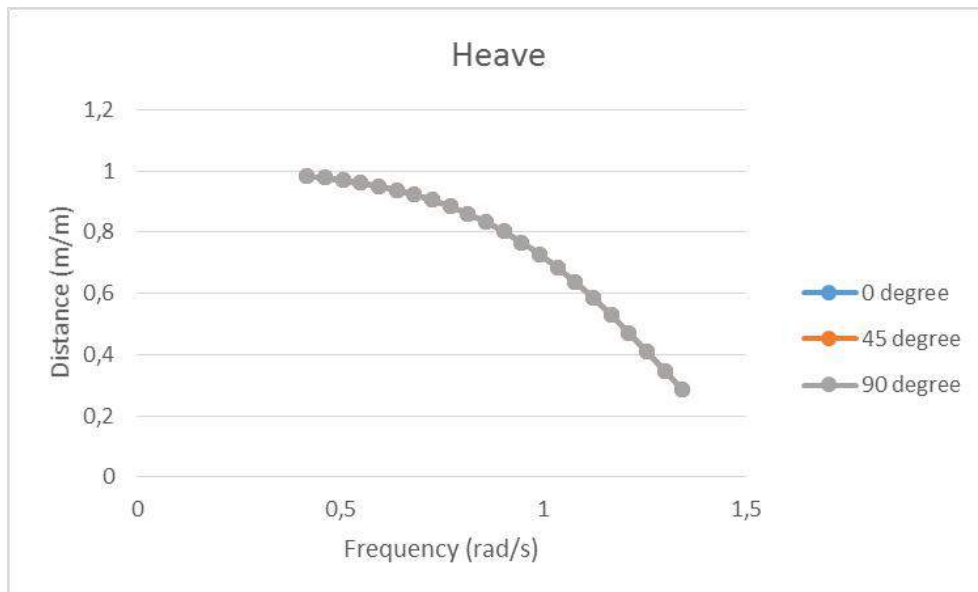
Gambar 4-40 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan surge

Gerakan *surge* terbesar terjadi saat arah *heading* 0 derajat dikarenakan searah dengan respon gerak strukture tersebut yaitu dengan nilai perpindahan 1,5m/m gelombang.



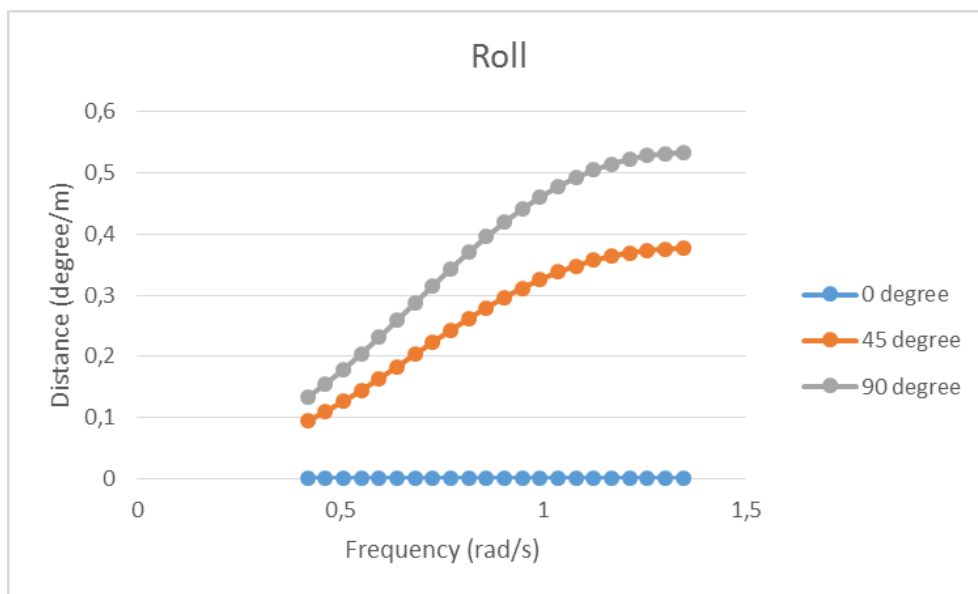
Gambar 4-41 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan sway

Pada gerakan *sway* respon gerak terbesar yaitu pada sudut 90 derajat karena searah dengan arah gelombang dengan nilai 1,5 m/m gelombang.



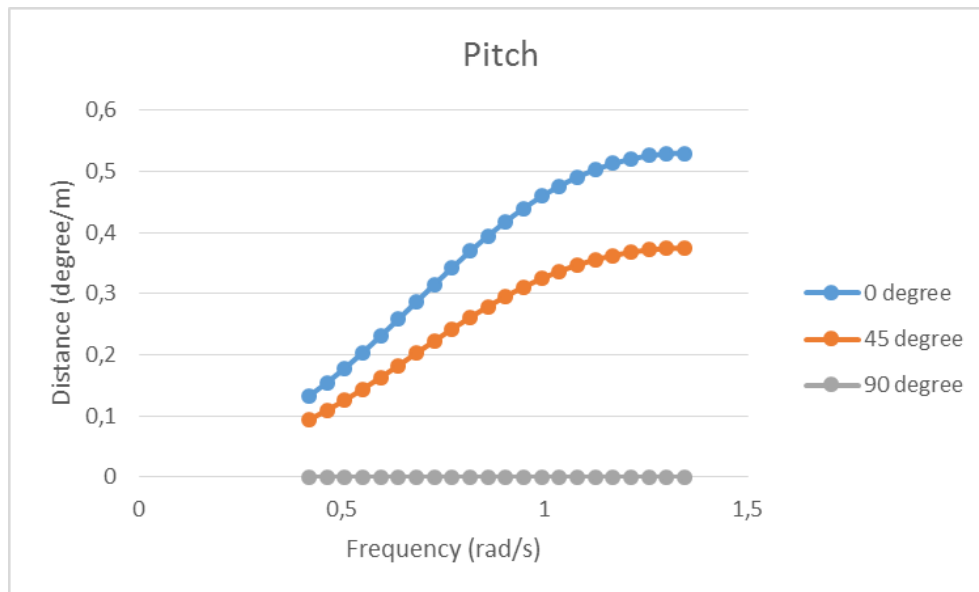
Gambar 4-42 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan heave

Untuk gerakan *heave* pada FarmOcean pada frekuensi 0,4 rad/s nilainya terus menecil sampai ke frekuensi gelombang 1,4 rad/s.



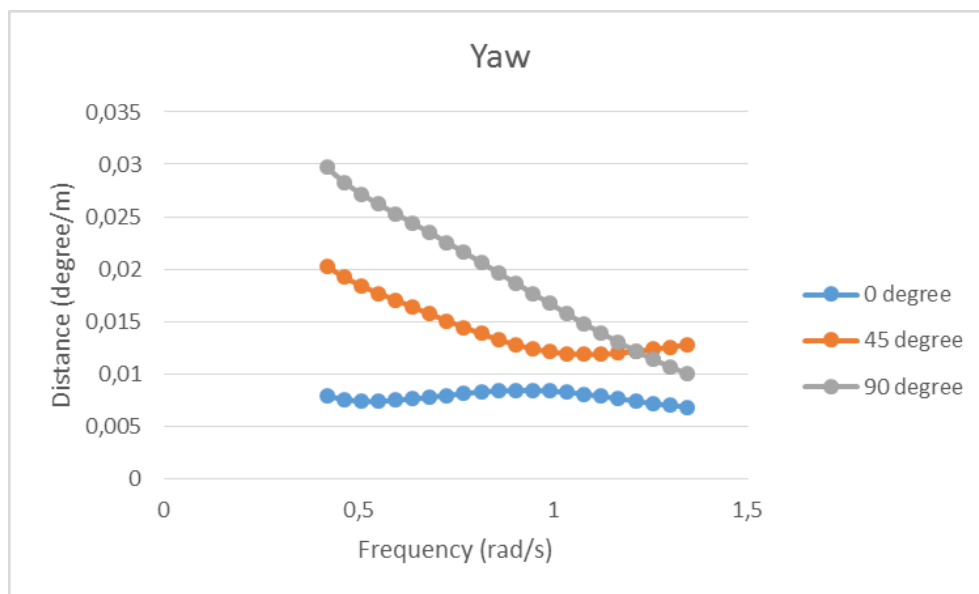
Gambar 4-43 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan roll

Respon gerak rotasi *rolling* terbesar terjadi pada arah gelombang 90 derajat dengan nilai respon gerak rotasi sebesar 0,52 derajat/m.



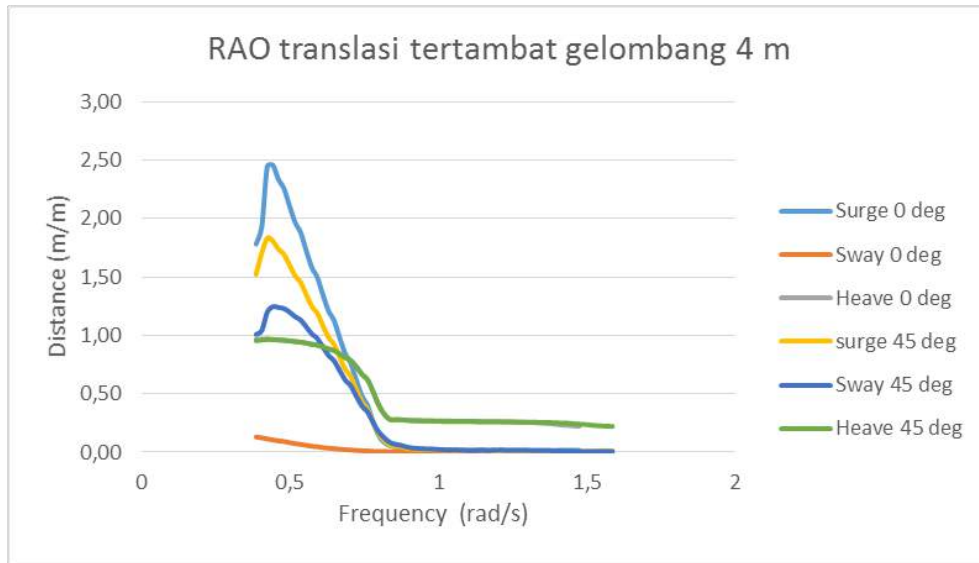
Gambar 4-44 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan pitch

Untuk *pitching* respon gerakanya juga sama dengan *rolling* akan tetapi berbeda arah yaitu nilai terbesar pada gelombang dari arah 0 derajat.



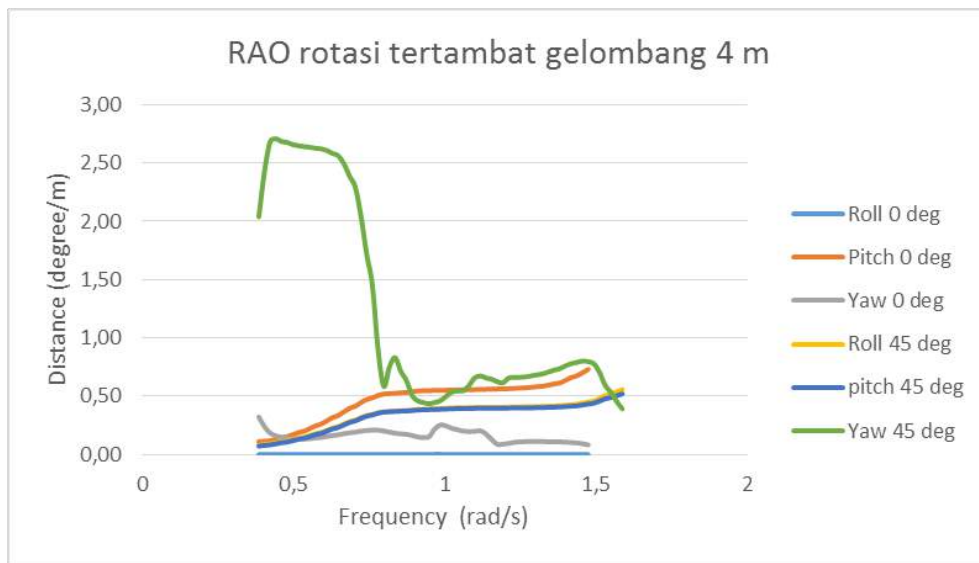
Gambar 4-45 RAO free floating FarmOcean untuk gerakan yaw

Respon gerak *yaw* terbesar terjadi saat arah gelombang dari sudut 90 derajat dengan nilai yang sangat kecil yaitu 0,03 derajat/m.



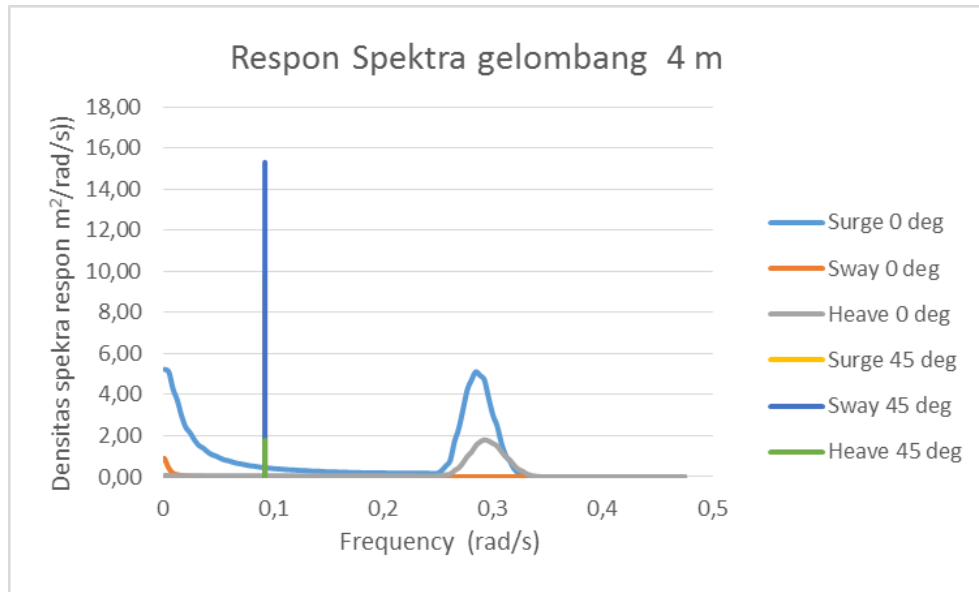
Gambar 4-46 RAO tertambat untuk gerakan translasi pada struktur FarmOcean

Saat kondisi tertambat, respon gerak struktur FarmOcean memiliki nilai terbesar pada gerakan *surge* dikarenakan arah arus sama dengan arah gerakan gelombangnya, sedangkan untuk respon gerak pada saat kondisi gelombang maksimum 4 m dengan struktur dalam keadaan tertambat dapat dilihat pada Gambar 4-47.



Gambar 4-47 tertambat untuk gerakan rotasi pada struktur FarmOcean

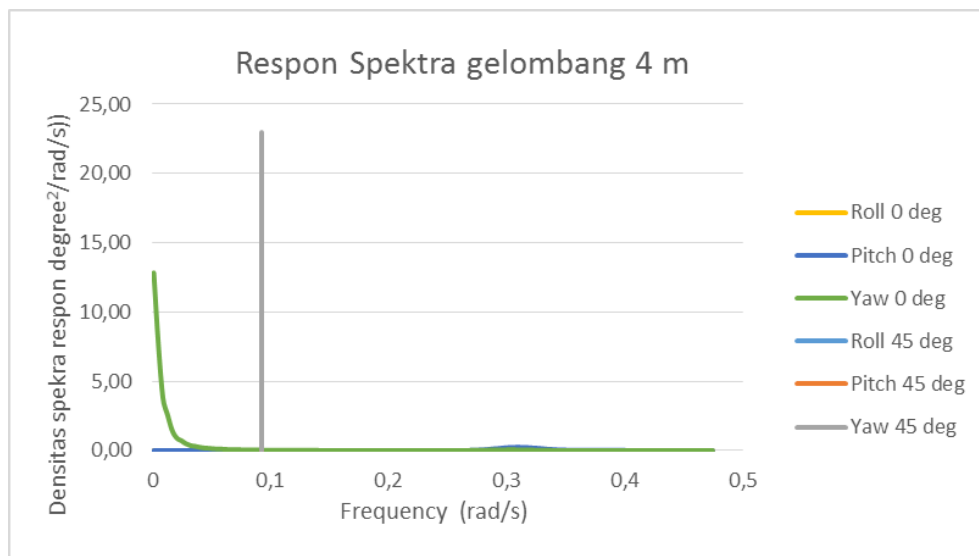
Gerakan rotasi saat struktur tertambat dengan tinggi gelombang 4 meter menghasilkan respon *yaw* terbesar dengan nilai mencapai 2,53 derajat/m dan respon terkecil adalah gerakan *roll*nya.



Gambar 4-48 Respon Spektra gelombang gerakan translasi FarmOcean

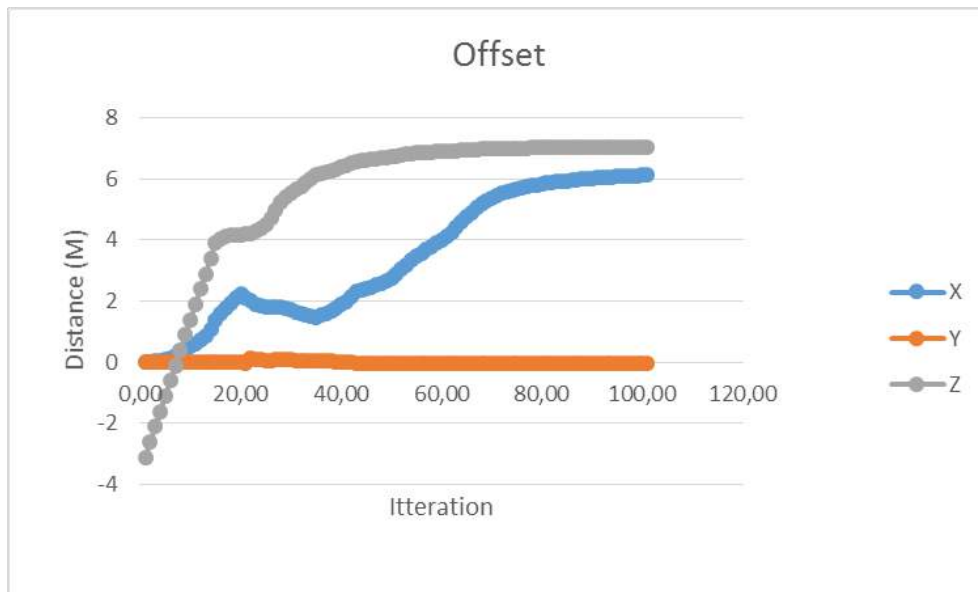
Gambar 4-48 merupakan respon spektra untuk gerakan translasi untuk tinggi gelombang 4 meter dengan arah gelombang 0 dan 45 derajat dimana puncak respon spektra terbesar pada sway dengan arah gelombang 45 derajat.

Untuk respon spektra gerakan rotasi dengan tinggi gelombang sebesar 4 m dan arah gelombang 0 dan 45 derajat dapat dilihat pada Gambar 4-49.



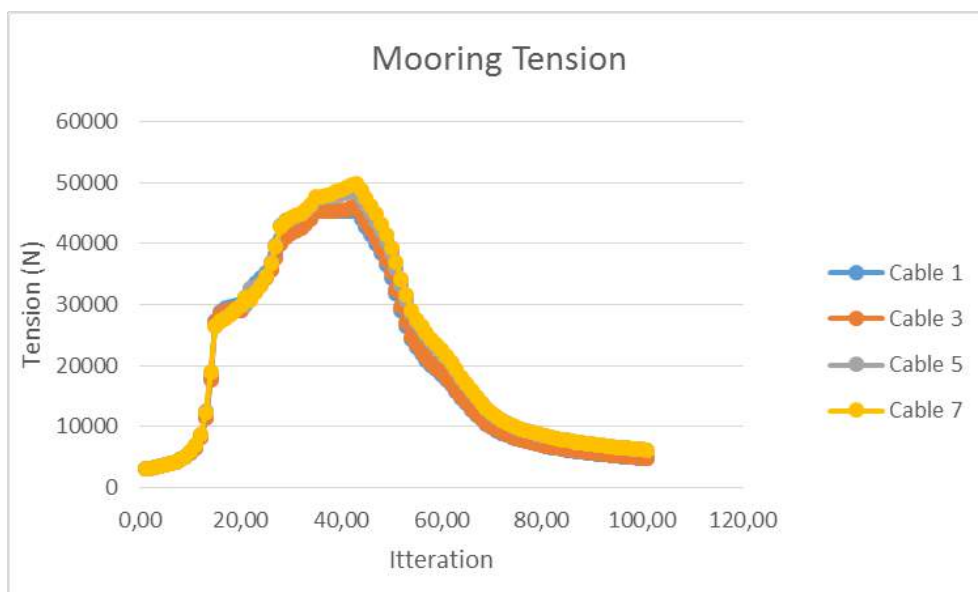
Gambar 4-49 Respon Spektra gelombang gerakan rotasi FarmOcean

Offset kearah translasi sumbu x, y dan z dapat dilihat pada Gambar 4-50, dimana gerakan kearah sumbu y memiliki nilai yang stabil dimana bisa dikatakan pergeseran posisi struktur sangat kecil.



Gambar 4-50 Offset pada struktur FarmOcean untuk 100 langkah waktu

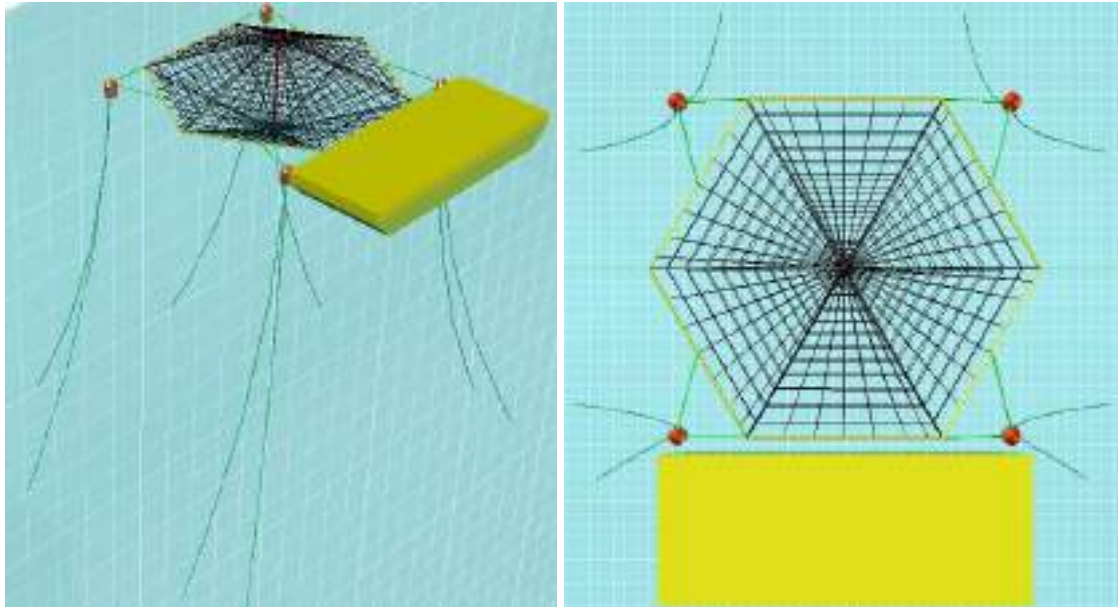
Mooring tension pada struktur Farm Ocean yang terbesar hampir mencapai 50000 Newton. Dengan semua kabel memiliki nilai yang hampir sama dikarenakan konfigurasi *rectangular array* yang simetri.



Gambar 4-51 Mooring Tension Farm Ocean Gelombang 4 m

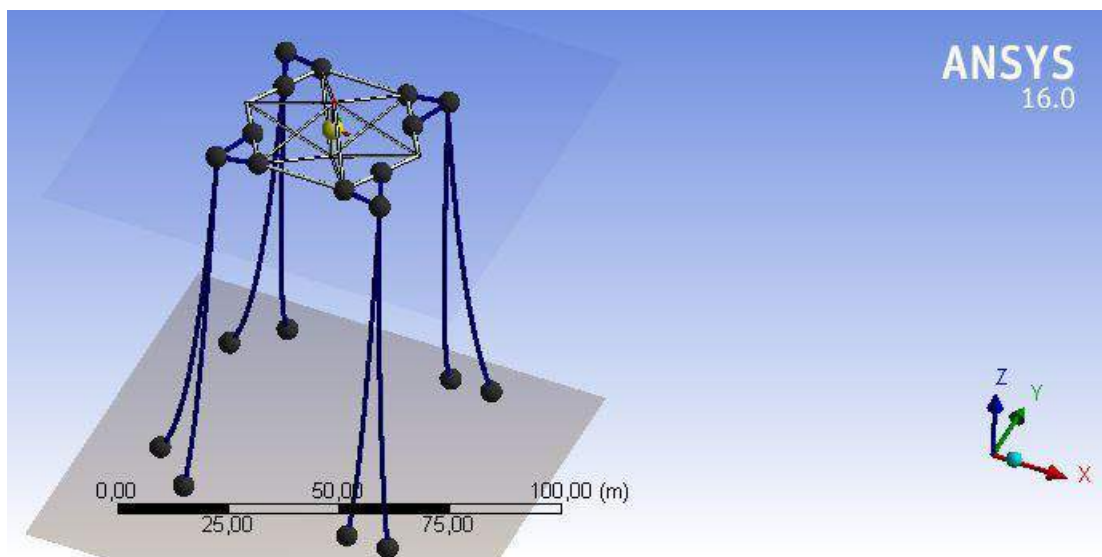
4.5.3 SeaStation

Untuk struktur SeaStation yang merupakan desain inovasi dapat dilihat pada Gambar 4-52 bahwa konfigurasinya menggunakan 4 buoy yang mengelilingi strukturnya.



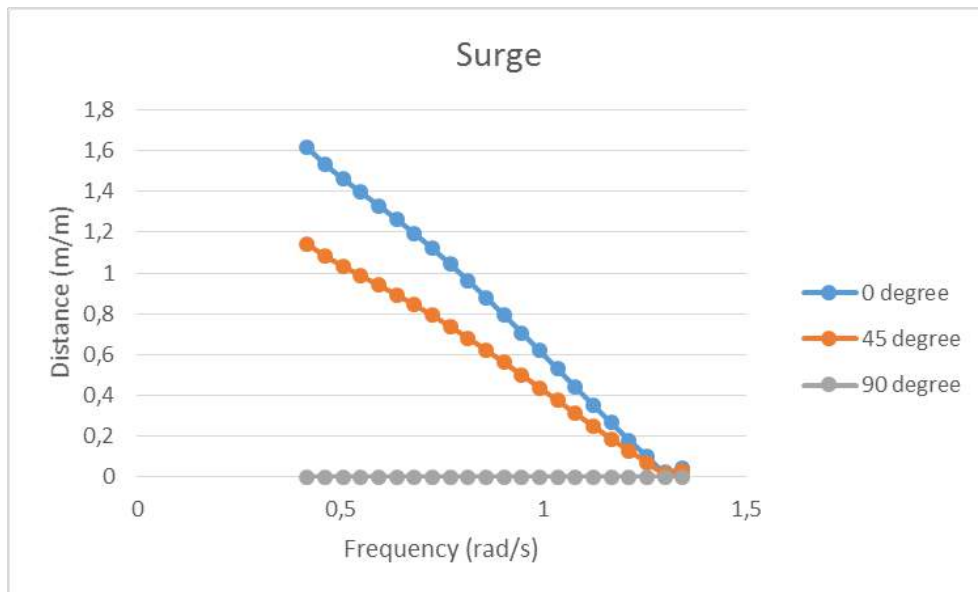
Gambar 4-52 Ilustrasi *mooring* pada struktur *sea station*.

Perhitungan respon gerak Ocean-FarmITS dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS Aqwa seperti pada Gambar 4-53.



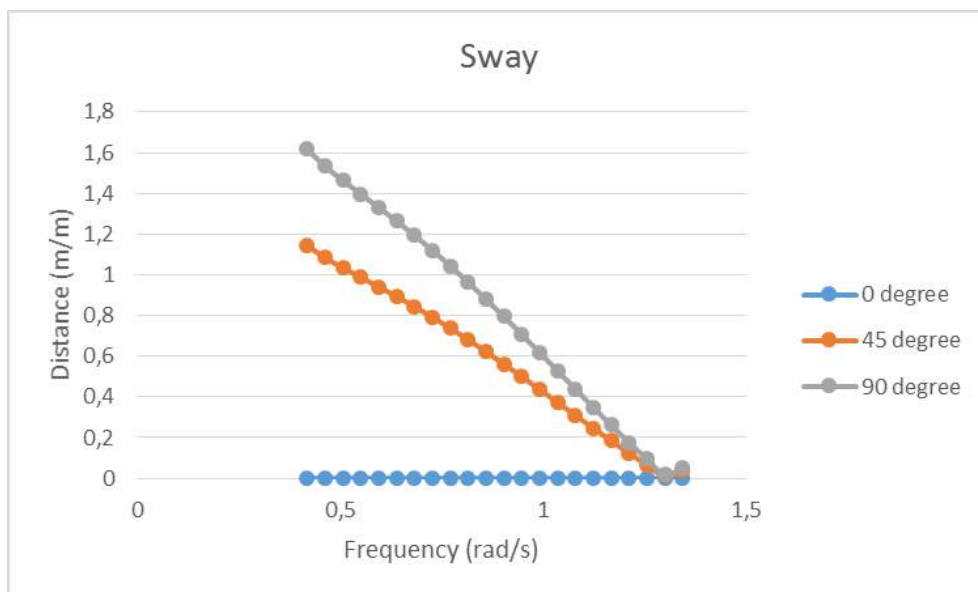
Gambar 4-53 Hydrodinamic and mooring analysis of Sea Station

Dari analisis untuk struktur Ocean-FarmITS didapat 6 gerakan respon struktur saat *free floating* baik secara translasi maupun rotasi, hal ini dapat kita lihat pada Gambar 4-54 - Gambar 4-59.



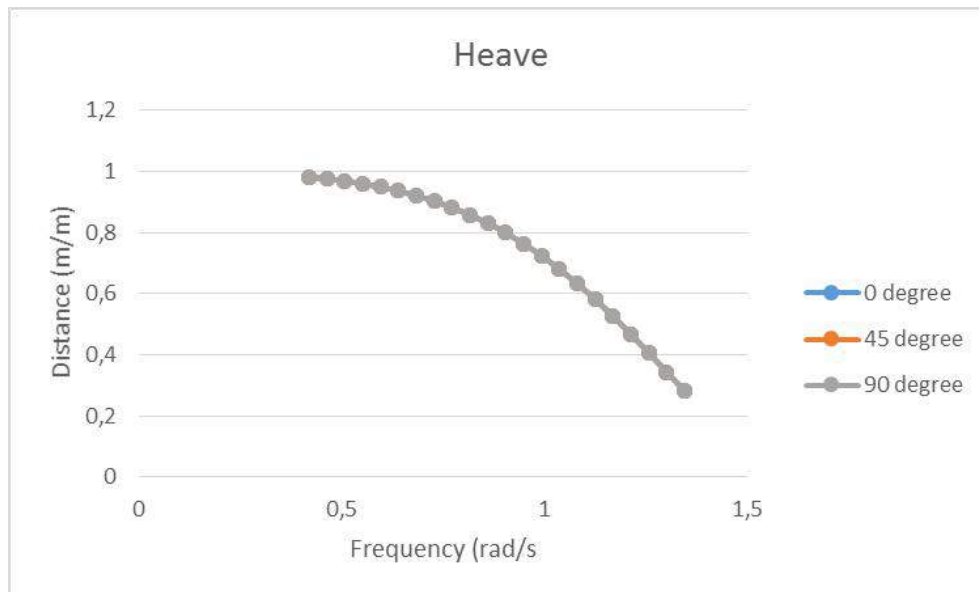
Gambar 4-54 RAO free floating SeaStation untuk gerakan surge

Arah gelombang 0 derajat yang searah dengan gerakan *surge* memberikan respon gerak tersebut menjadi paling besar pada struktur dengan nilai sebesar 1,62 m/m gelombang.



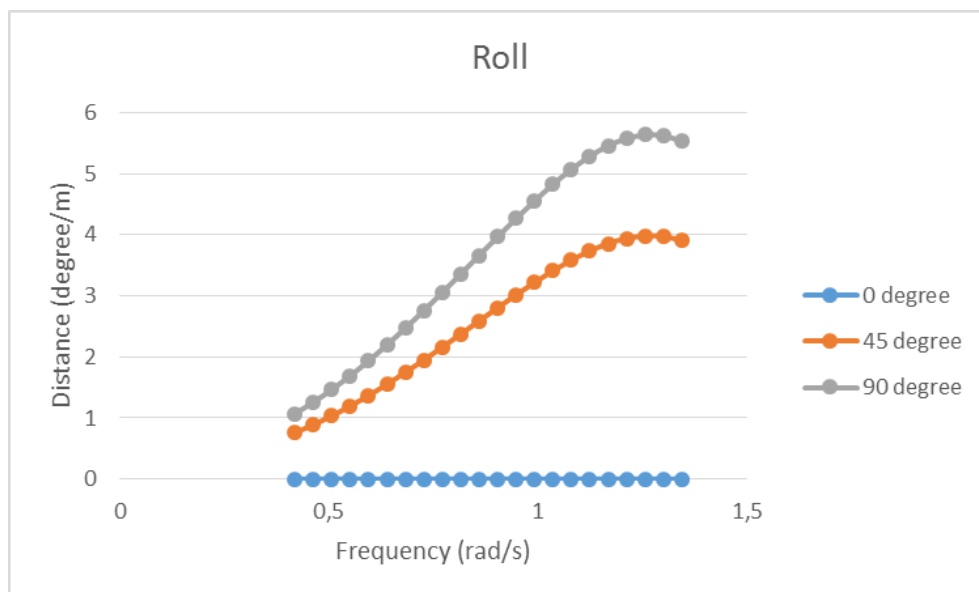
Gambar 4-55 RAO free floating SeaStation untuk gerakan sway

Sama halnya dengan *surge*, untuk gerakan *sway* arah gelombang yang searah dengan respon strukturnya adalah 90 derajat maka dari itu nilai respon gerak terbesar terjadi.



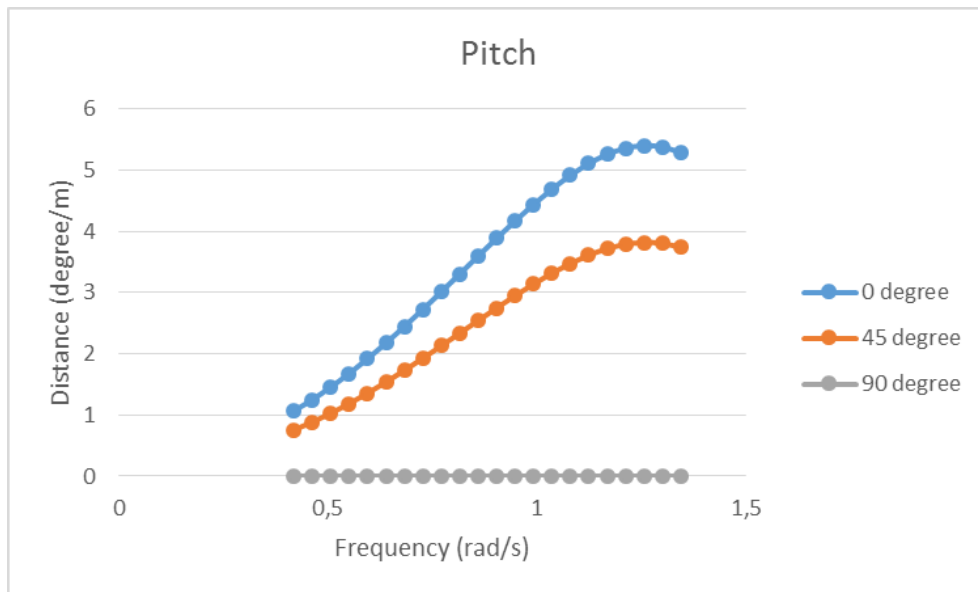
Gambar 4-56 RAO free floating SeaStation untuk gerakan heave

Gerakan ke arah sumbu vertikal / *heave* ini menurun dari frekuensi 0,4 (rad/s) sampai dengan 1,4 (rad/s) namun besaran respon gerakannya tidak linear.



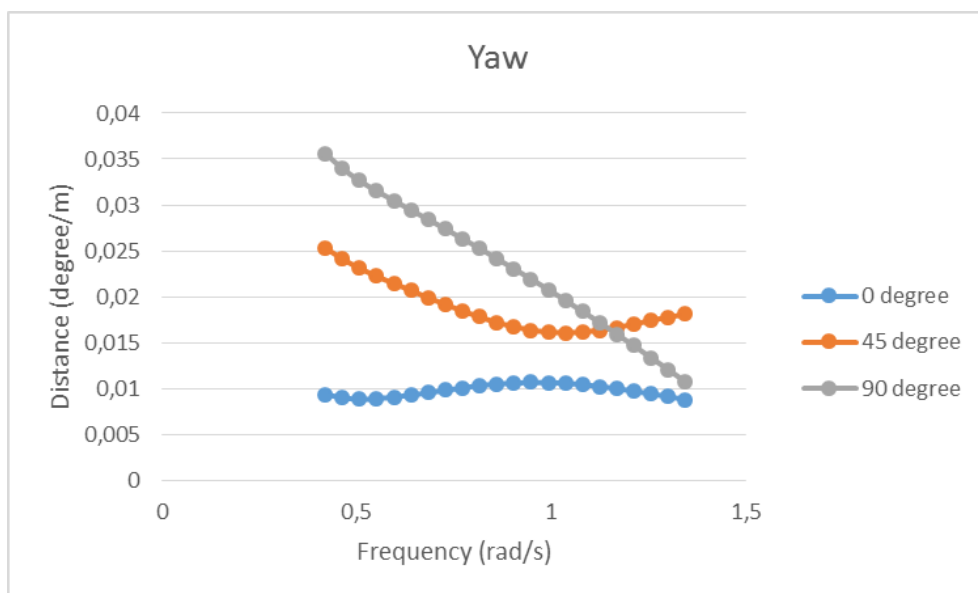
Gambar 4-57 RAO free floating SeaStation untuk gerakan roll

Gerakan *rolling* dan *pitching* memiliki nilai respon gerak yang sama namun dari arah yang berbeda, dimana untuk *roll* respon gerak terbesar terjadi pada sudut 90 derajat dan untuk gerakan *pitch* respon gerak terbesar terjadi pada sumbu 0 derajat.



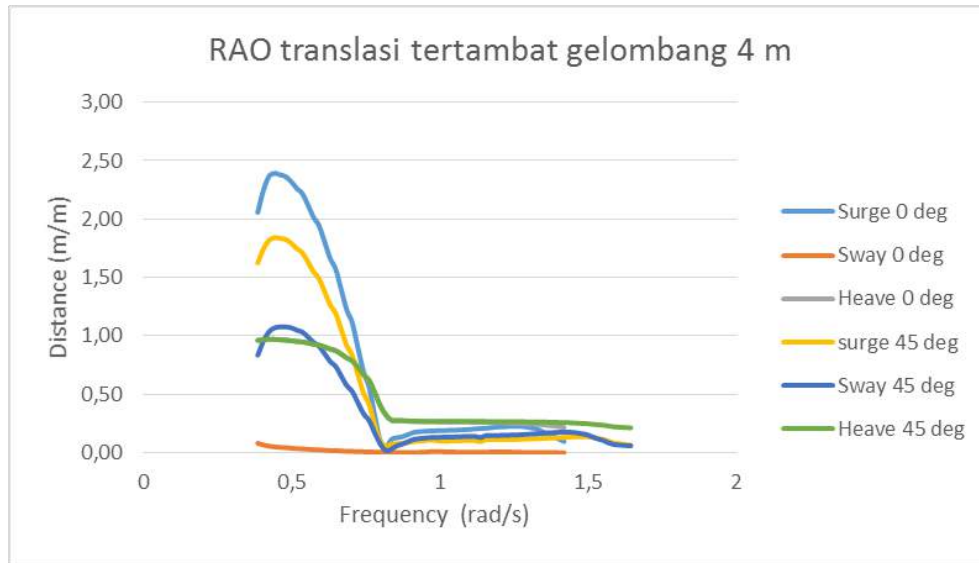
Gambar 4-58 RAO free floating SeaStation untuk gerakan pitch

Nilai respon gerak antara *rolling* dan *pitching* hampir sama dikarenakan struktur yang bentuknya simetri dari segala arah, beda halnya dengan stuktur kapal atau bangunan laut yang ada saat ini.



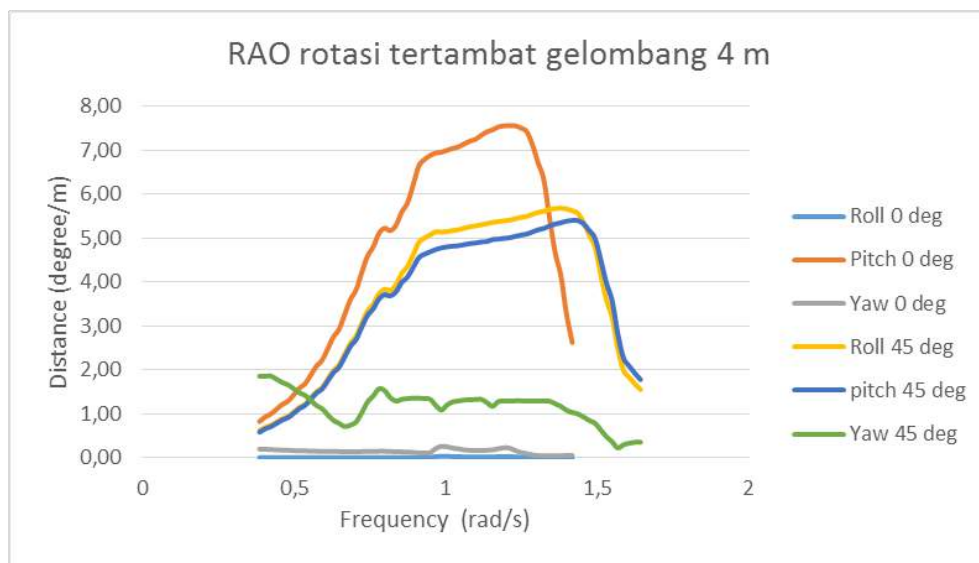
Gambar 4-59 RAO free floating SeaStation untuk gerakan yaw

Gerakan rotasi *yaw* sendiri memiliki nilai terbesar pada saat frekuensi 0,4 rad/s dengan nilai respon gerak sebesar 0,036 derajat/m gelombang/



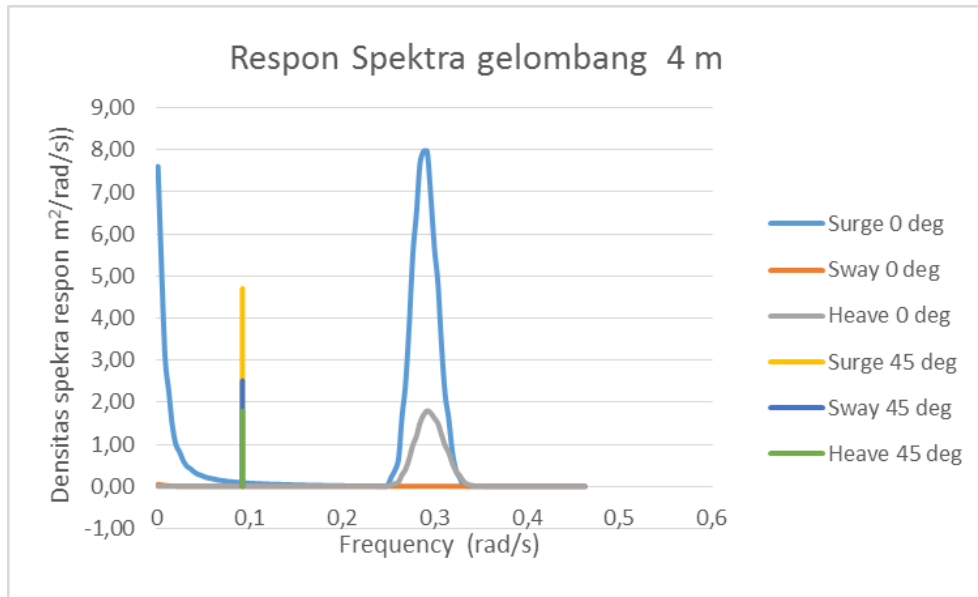
Gambar 4-60 RAO tertambat gerakan translasi untuk stuktur SeaStation

Sedangkan untuk respon gerak pada saat kondisi gelombang maksimum 4 m dengan struktur dalam keadaan tertambat dapat dilihat pada Gambar 4-60 dan Gambar 4-61.



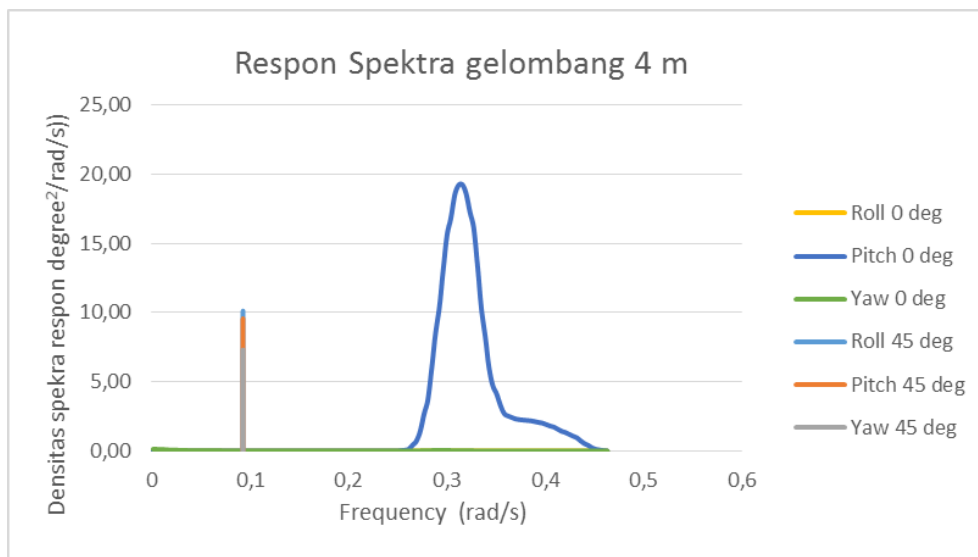
Gambar 4-61 RAO tertambat untuk gerakan rotasi struktur SeaStation

Respon spektra untuk gelombang 4 meter gerakan translasi terjadi dua puncak yaitu saat frekuensi awal di 0 rad/s dan 0,29 rad/s yang keduanya adalah gerakan *surge*.



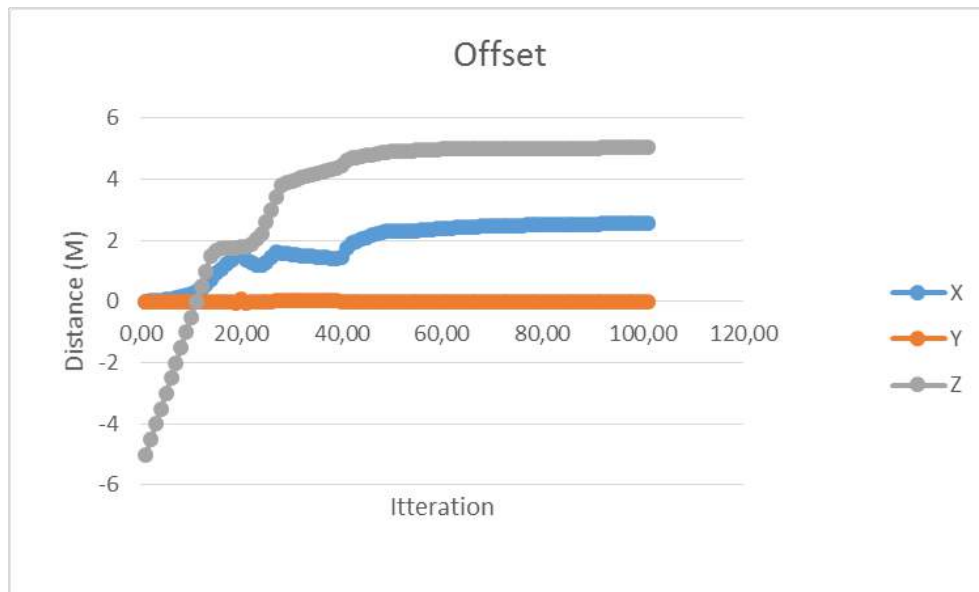
Gambar 4-62 Respon Spektra gelombang gerakan translasi SeaStation

Untuk respon spektra gerakan rotasi pada gelombang 4 meter dapat dilihat pada Gambar 4-63 dimana puncak respon spektra tertinggi adalah gerakan pitch dengan sudut arah gelombang 0 m.



Gambar 4-63 Respon Spektra gelombang gerakan rotasi SeaStation

Offset gerakan kearah sumbu x, y dan z pada struktur ini cukup stabil untuk gerakan kearah sumbu y dimana perpindahannya hampir tidak ada dan bisa dikatakan hampir tidak bergerak untuk kearah sumbu y.



Gambar 4-64 Offset pada struktur SeaStation untuk 100 langkah waktu

Untuk sumbu z dengan kata lain gerakan perpindahan yang nilainya cukup banyak yaitu gerakan vertikalnya mulai dari -5 m sampai dengan 5 m, analisis diatas terdiri dari 100 *timestep* yang diatur pada *software* yang digunakan.

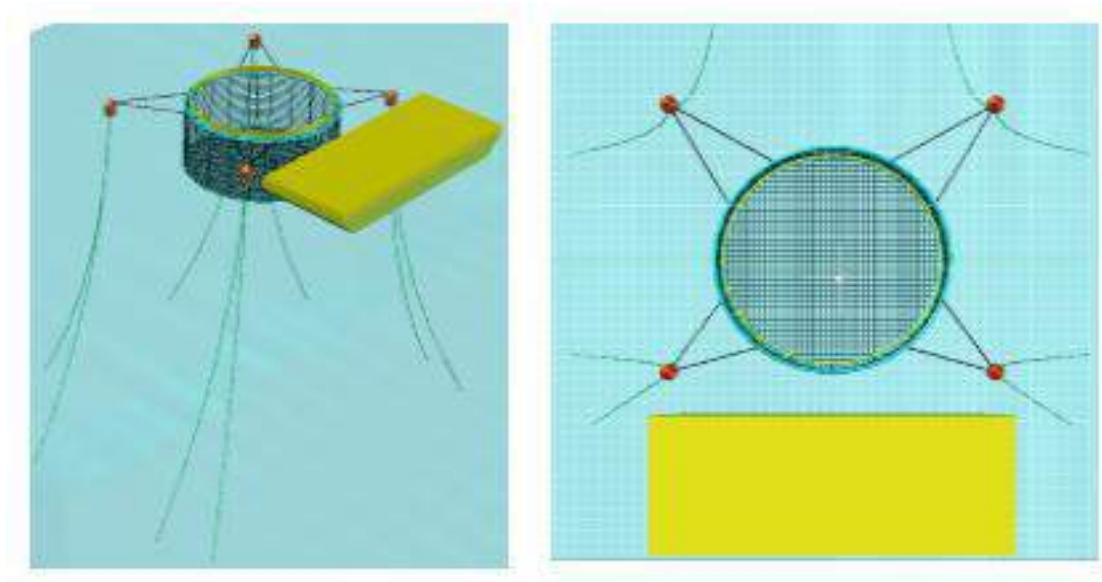


Gambar 4-65 Mooring tension dan Offset struktur Sea Staiton gelombang 4 m.

Mooring tension pada struktur Sea Station yang terbesar hampir mencapai 55000 Newton. Dengan semua kabel memiliki nilai yang hampir sama dikarenakan konfigurasi *rectangular array* yang simetri.

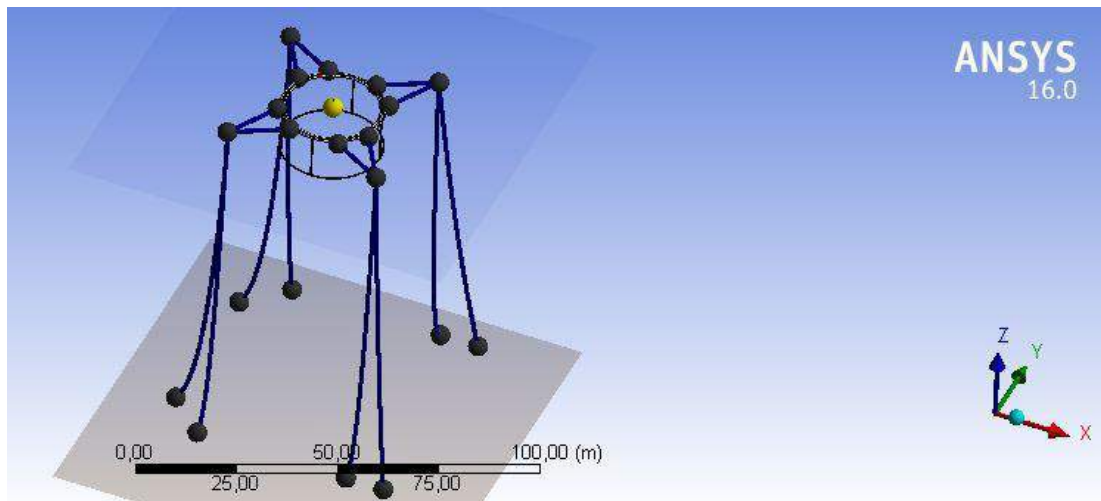
4.5.4 Collar Cage

untuk struktur Collar Cage yang merupakan desain inovasi dapat dilihat pada Gambar 4-66 bahwa konfigurasiya menggunakan 4 buoy yang mengelilingi strukturnya.



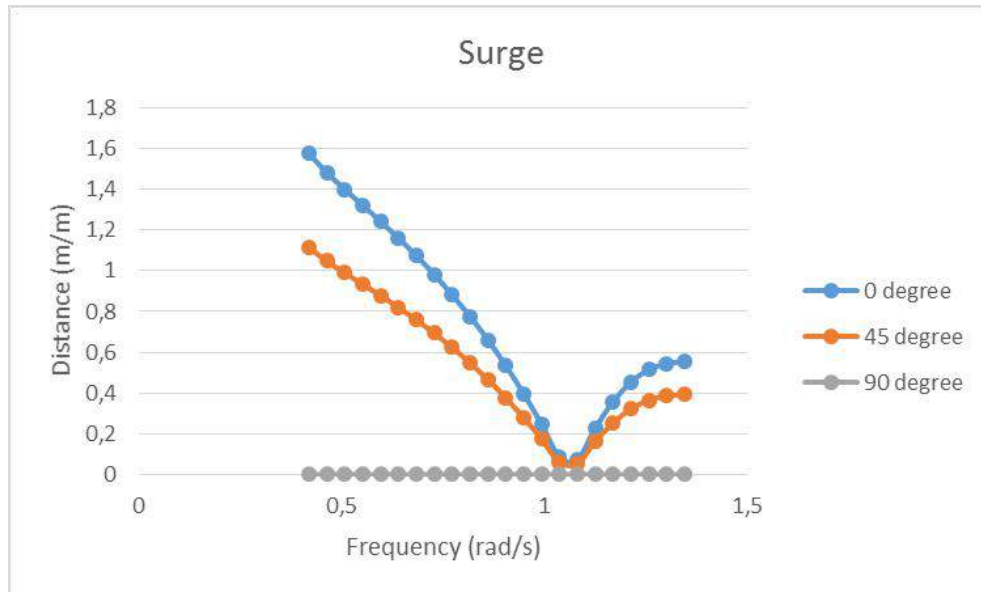
Gambar 4-66 Ilustrasi mooring pada collar cage.

Perhitungan respon gerak Ocean-FarmITS dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS Aqwa seperti pada Gambar 4-67.



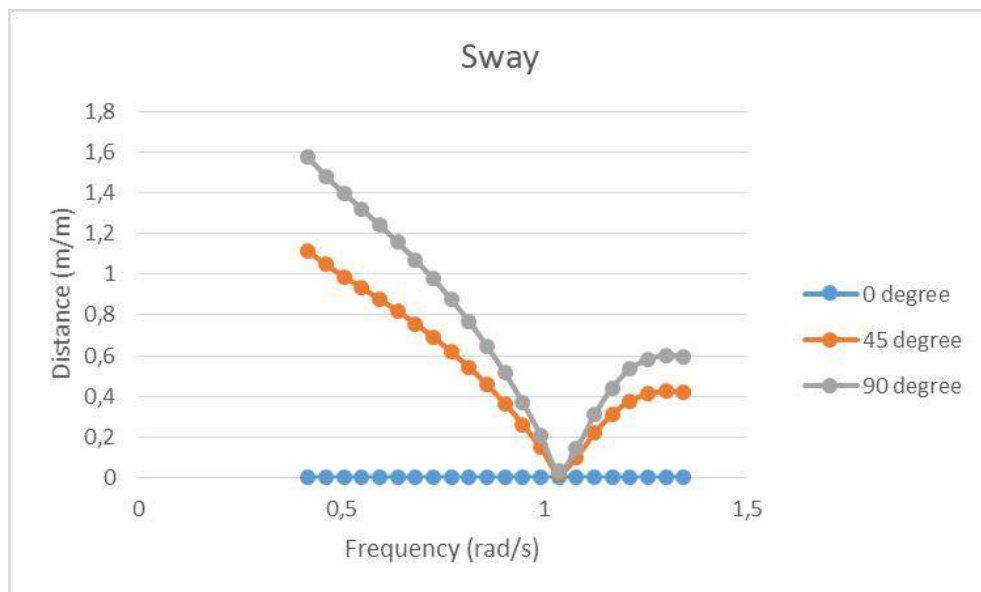
Gambar 4-67 Hydrodinamic and mooring analysis of collar cage

Dari analisis untuk struktur Ocean-FarmITS didapat 6 gerakan respon struktur saat *free floating* baik secar translasi maupun rotasi, hal ini dapat kita lihat pada Gambar 4-68 - Gambar 4-73.



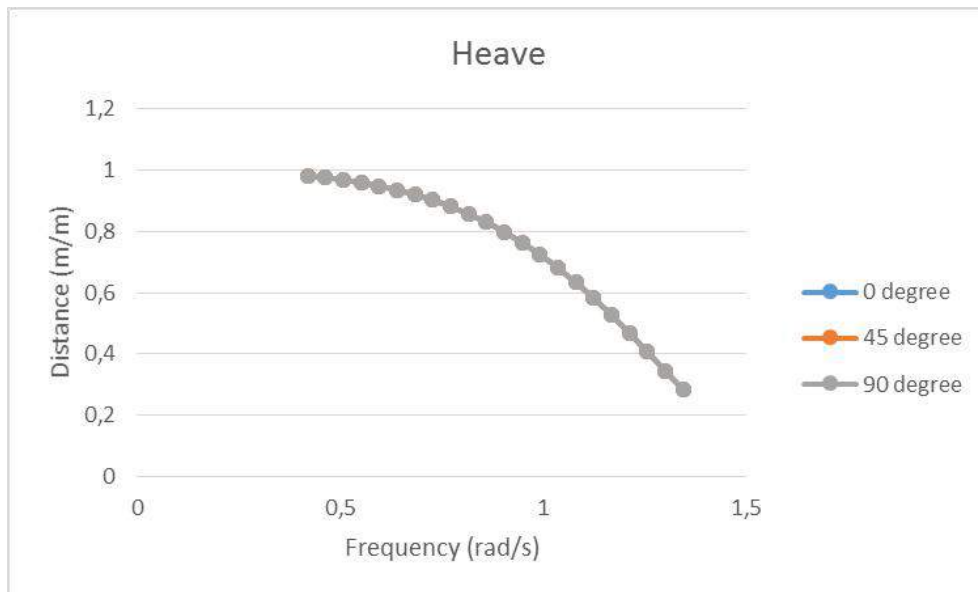
Gambar 4-68 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan surge

Respon gerak *surge* terbesar terjadi pada sudut arah gelombang 0 derajat dengan nilai 1,6 m/m sedangkan paling terkecil adalah arah gelombang 90 derajat dengan respon hampir tidak ada.



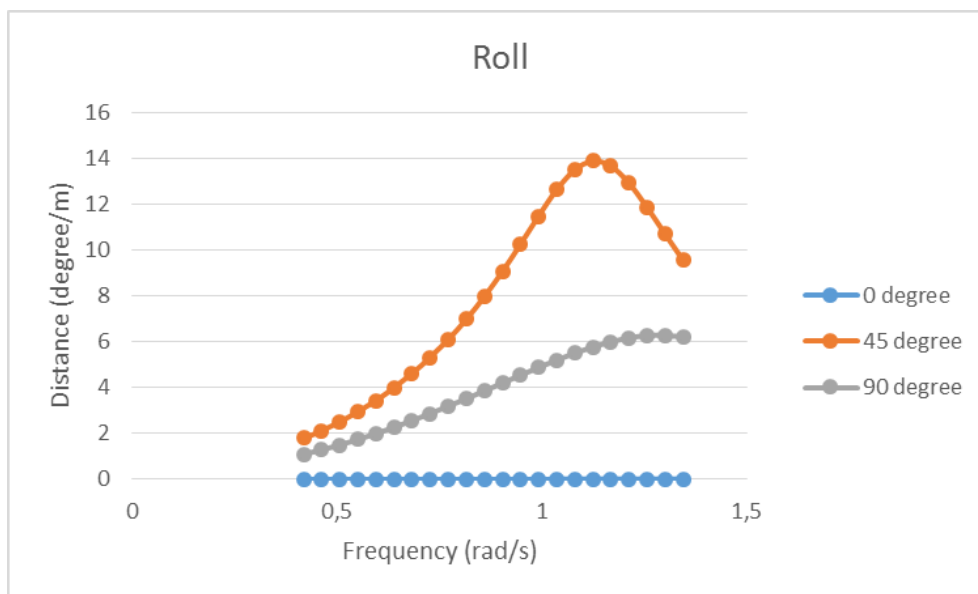
Gambar 4-69 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan sway

Respon gerak *sway* terbesar terjadi pada sudut arah gelombang 90 derajat dengan nilai 1,6 m/m sedangkan paling terkecil adalah arah gelombang 0 derajat dengan respon hampir tidak ada.



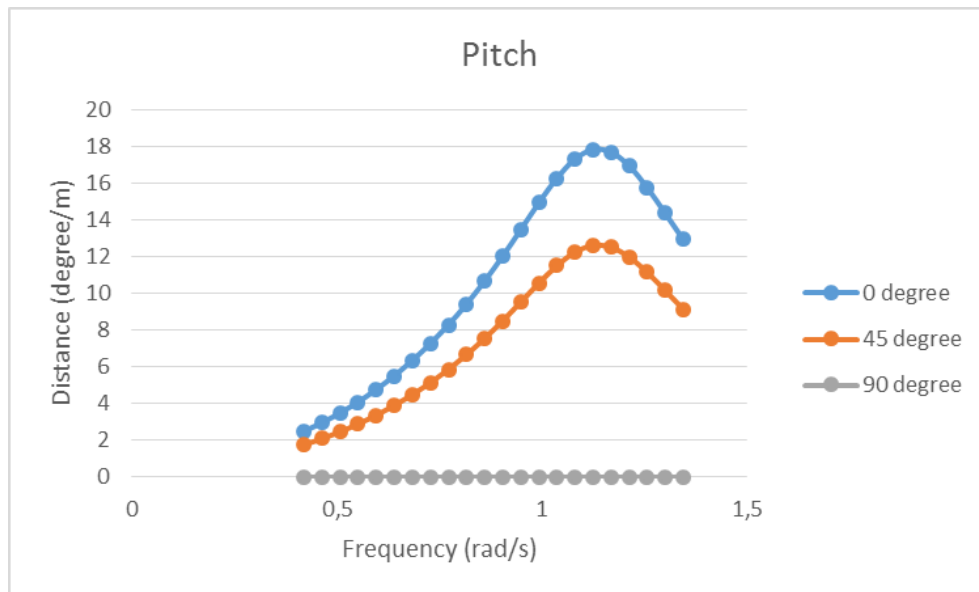
Gambar 4-70 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan heave

Respon gerak kearah vertikal / *heave* mengalami penurunan yang tidak linear dari frekuensi 0,4 rad/s – 1,4 rad/s dengan respon gerak puncaknya bernilai 0,96 m/m gelombang.



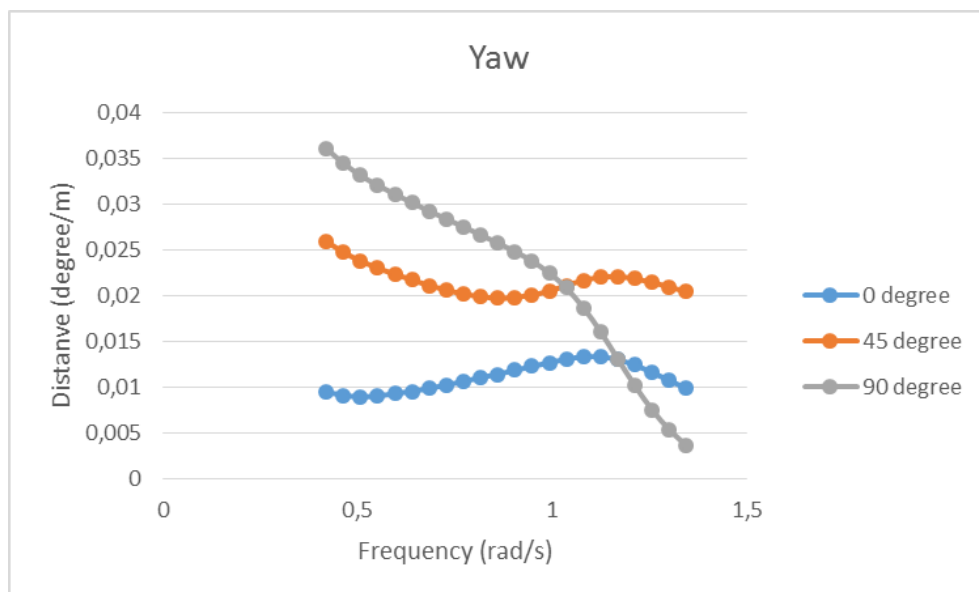
Gambar 4-71 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan roll

Untuk gerakan rotasi *rolling* respon gerak terbesar terjadi saat sudut arah gelombang 45 derajat dengan nilai respon sebesar 14 derajat/m gelombang dan hampir tidak ada respon saat sudut arah gelombang 0 derajat.



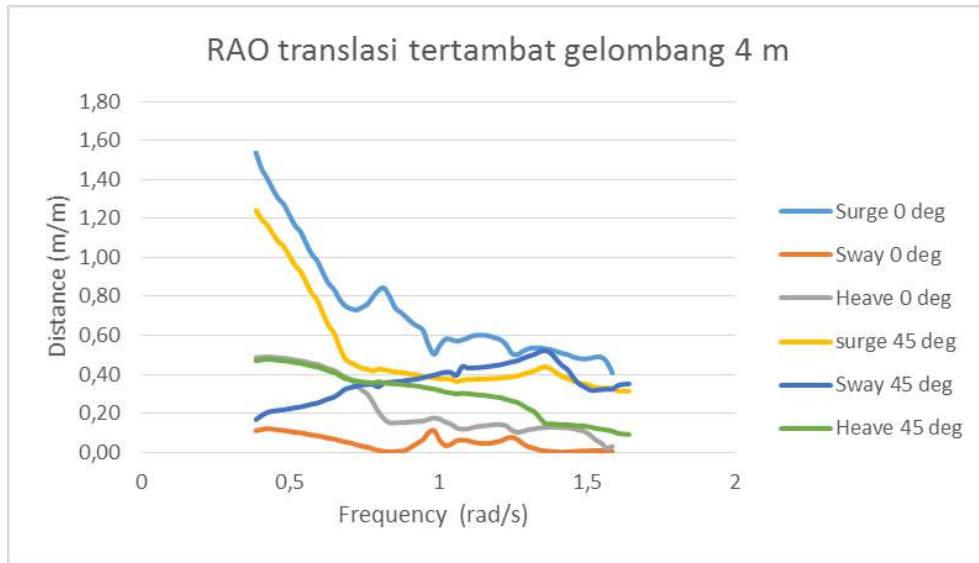
Gambar 4-72 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan pitch

Untuk gerakan *pitch* memiliki nilai respon yang berbanding terbalik dengan nilai *roll* yaitu maksimum saat arah gelombang 0 derajat dan minimum saat arah gelombang 90 derajat.



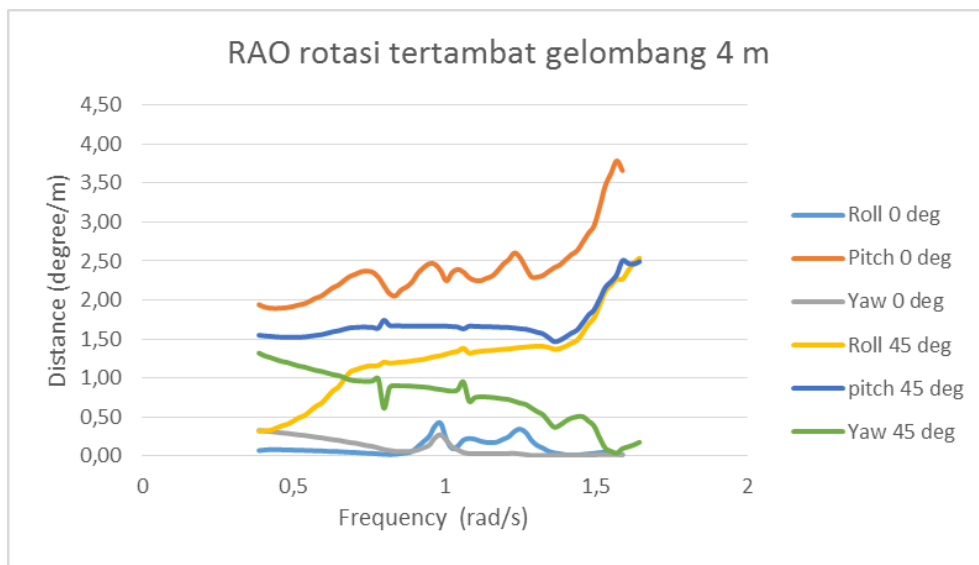
Gambar 4-73 RAO free floating Collar Cage untuk gerakan yaw

Sedangkan untuk respon gerak pada saat kondisi gelombang maksimum 4 m dengan struktur dalam keadaan tertambat dapat dilihat pada Gambar 4-74 dan Gambar 4-75.



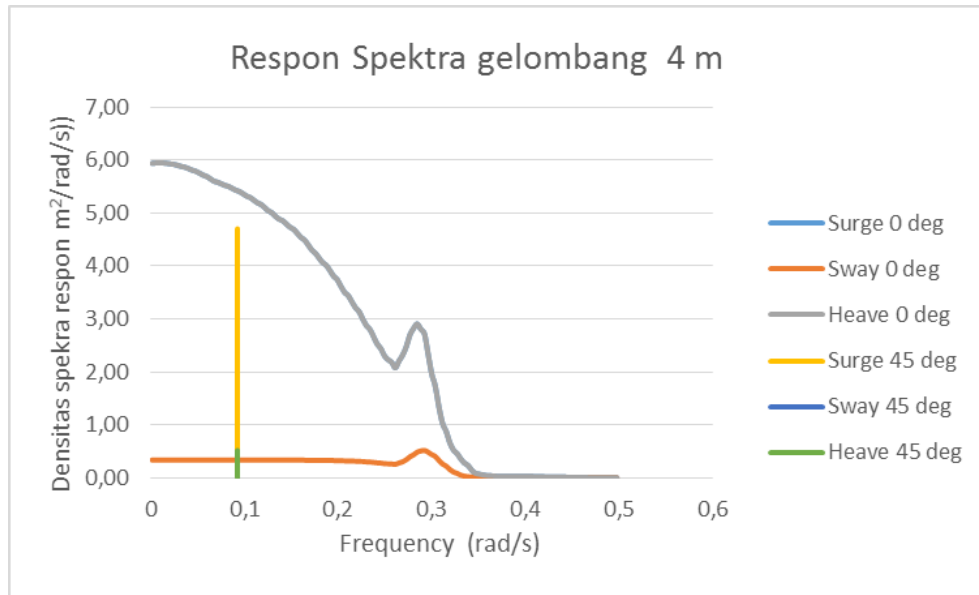
Gambar 4-74 RAO tertambat gerakan translasi struktur Collar Cage

Respon gerak saat kondisi tertambat untuk gerak translasi memiliki nilai maksimum pada gerakan *surge* dengan arah sudut gelombang 0 derajat dan minimum pada gerakan *sway* arah gelombang 0 derajat pula.



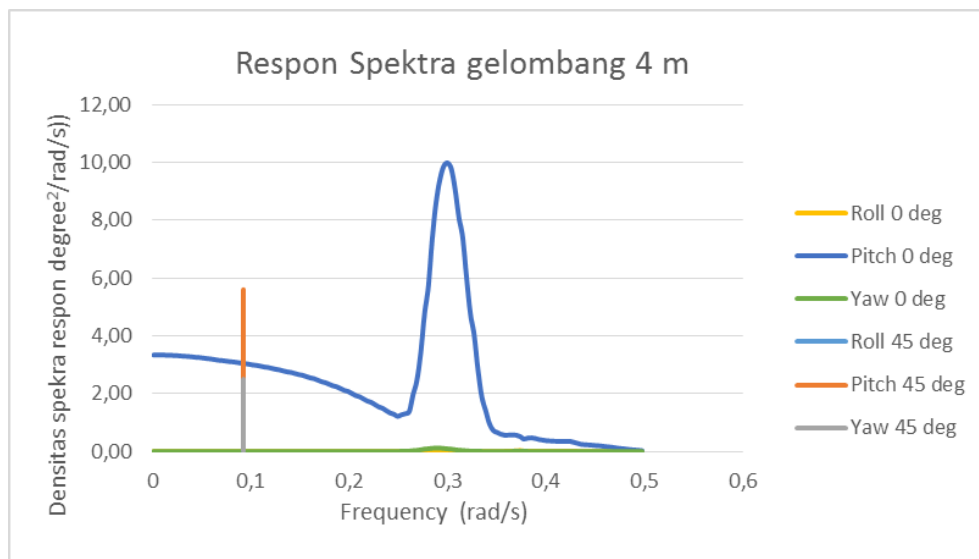
Gambar 4-75 RAO tertambat gerakan rotasi stuktur Collar Cage

Pada gerakan rotasi, respon gerak saat kondisi tertambat untuk gerakan *pitch* dengan arah gelombang 0 derajat merupakan respon gerak yang terbesar dan untuk respon gerakan yang terkecil adalah untuk gerakan *yaw*. Sedangkan untuk respon gerak pada saat kondisi gelombang maksimum 4 m dengan struktur dalam keadaan tertambat dapat dilihat pada Gambar 4-76 dan Gambar 4-77.



Gambar 4-76 Respon Spektra gelombang gerakan translasi Collar Cage

Respon spektra pada ketinggian gelombang 4 m terjadi pada gerakan *heave* dan terjadi satu puncak pada gerakan *surge* untuk arah gelombang 45 derajat.



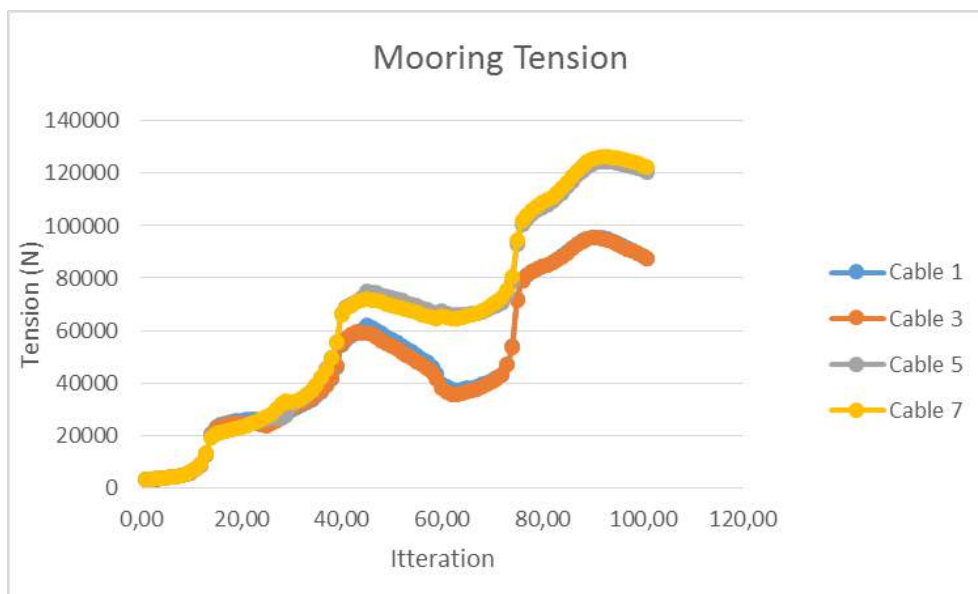
Gambar 4-77 Respon Spektra gelombang gerakan rotasi Collar Cage

Pada gerakan rotasi, respon spektra untuk gerakan *pitch* adalah yang terbesar dengan puncaknya terjadi saat frekuensi 0,3 rad/s.



Gambar 4-78 Offset pada struktur Collar Cage untuk 100 langkah waktu

Perpindahan / *offset* maksimum terjadi pada arah sumbu z yaitu gerakan vertikal / *heave* sedangkan struktur hampir tidak berpindah pada arah sumbu y yaitu gerakan *sway*.



Gambar 4-79 Mooring tension dari struktur Collar Cage

Mooring tension pada struktur Collar Cage yang terbesar hampir mencapai 130000 Newton. Dengan semua kabel memiliki nilai yang hampir sama dikarenakan konfigurasi *rectangular array* yang simetri.

4.6 Analisis Kekuatan Lelah

Menentukan umur suatu struktur didapatkan dengan menganalisis model struktur secara numerik menggunakan *software* analisis untuk struktur, kondisi batas untuk tiap-tiap jenis struktur telah dijelaskan pada sub-bab 4.3.3. Setiap struktur diberi 4 gaya tegangan tali lalu dicari nilai tegangan normal maksimumnya, setelah itu umur struktur dapat dihitung menggunakan metode deterministik *Palmgren-Miner cumulative damage* yang telah dijelaskan pada sub-bab 2.10.

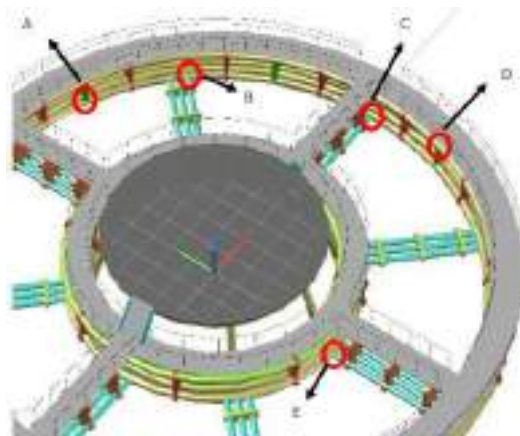
4.6.1 Ocean-FarmITS

Pada struktur ini terdapat dua jenis tumpuan yaitu pin di ujung tubular bagian tengah dan roll untuk tubular terluar serta berat struktur Ocean-FarmITS ini adalah 9,16 ton serta dengan besar gaya tarik yang bervariasi sesuai dengan tinggi gelombang yang ada dan dapat dilihat pada Tabel 4-8:

1. $F1 = \dots\dots\dots N$ (gaya tarik kabel 1)
2. $F2 = \dots\dots\dots N$ (gaya tarik kabel 2)
3. $F3 = \dots\dots\dots N$ (gaya tarik kabel 3)
4. $F4 = \dots\dots\dots N$ (gaya tarik kabel 4)

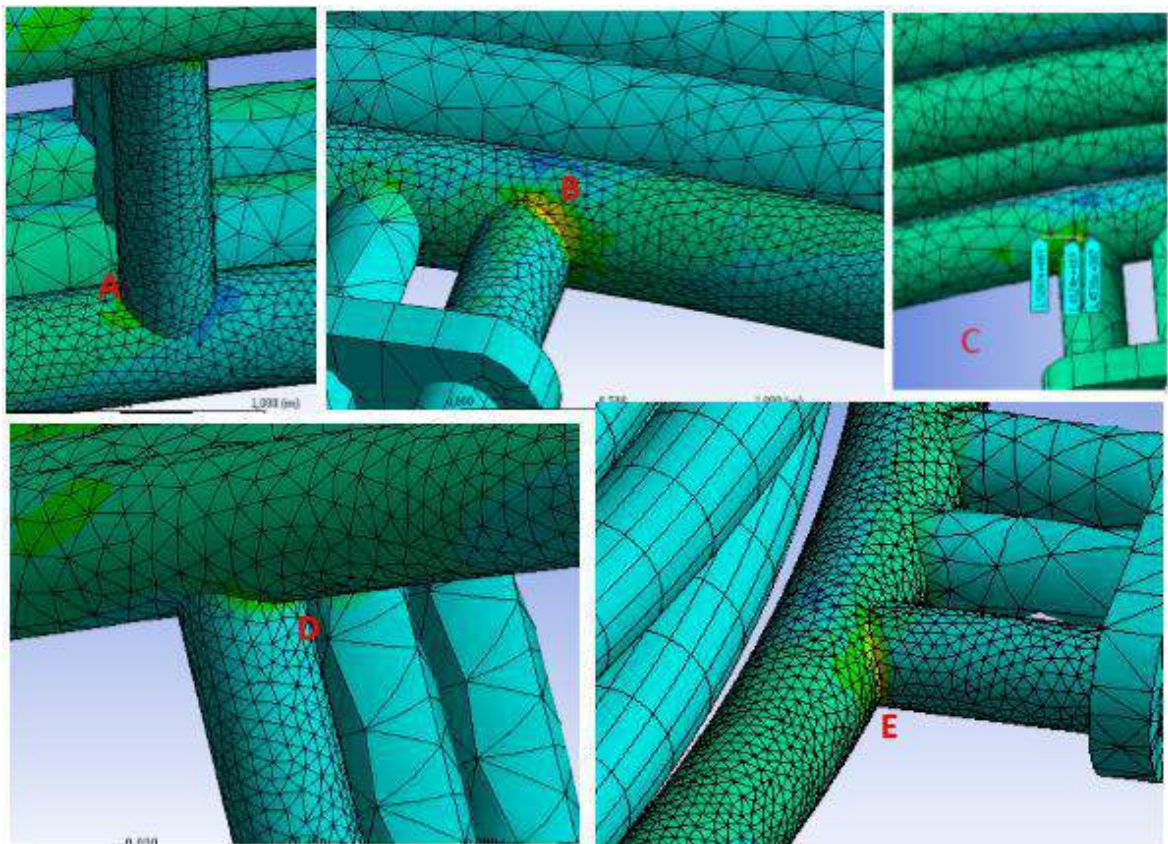
Besaran gaya tarik disesuaikan dengan hasil dari variasi tinggi gelombang yang di input, besaran tinggi gelombang terdapat pada 4.3.1

Untuk menganalisis kekuatan lelah, struktur ini dianalisis untuk 5 jenis sambungan yang berbeda, yaitu sambungan di titik A, titik B, titik C, titik D dan titik E. Hal ini terlihat pada Gambar 4-80.



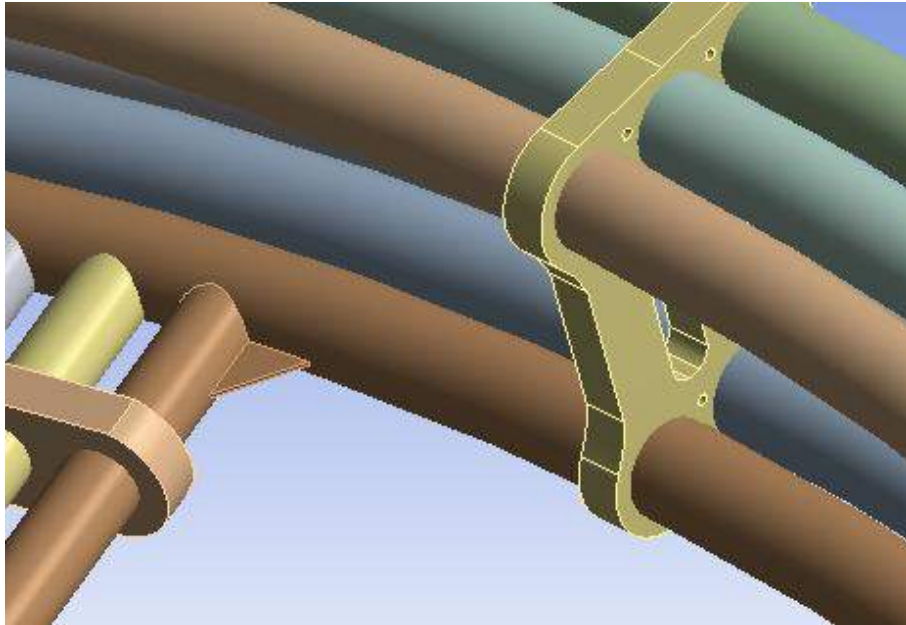
Gambar 4-80 5 sambungan yang di analisis pada Ocean-FarmITS.

Dari data input diatas didapatkan tegangan nominal maksimum sebesar 13,048 Mpa dengan letak tegangan maksimum untuk pada tiap titik sambungan A, sambungan B, sambungan C, sambungan D dan sambungan E dengan nilai tegangan yang berbeda untuk masing-masing jenis sambungan dimana nilai terbesar dicari disekitar sambungan dengan menggunakan tools *probe* pada ANSYS Stucture untuk mencari titik mana disekitar area sambungan tersebut yang memiliki nilai tegangan terbesar, dan hasil dari analisis serta pencarian tegangan terbesar disekitar sambungan untuk sambungan di titik A, titik B, titik C, titik D dan titik E dapat kita lihat pada Gambar 4-81.



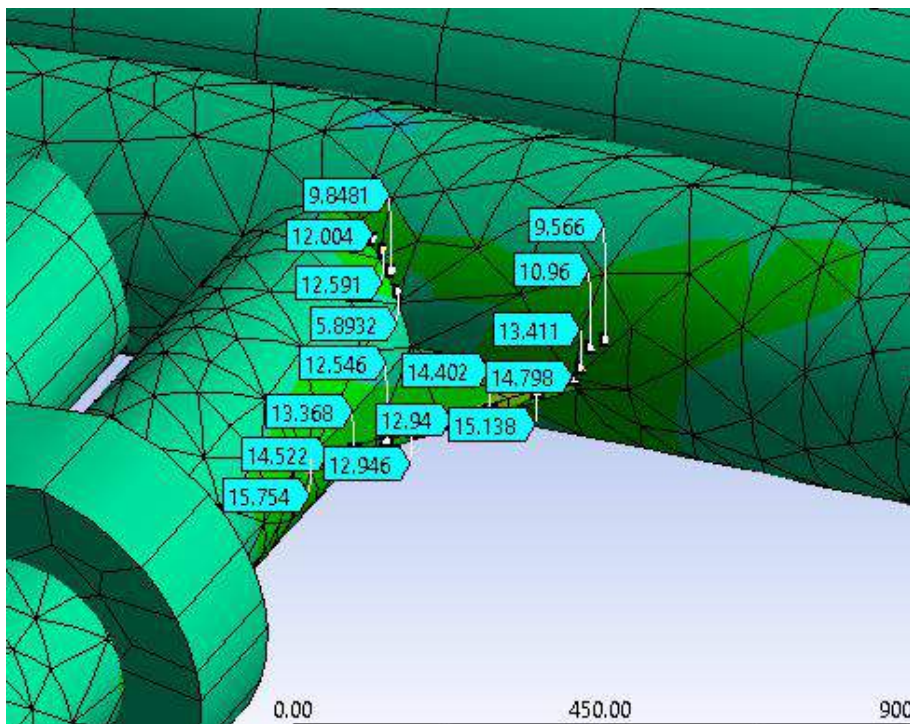
Gambar 4-81 Tegangan nominal pada tiap joint struktu Ocean-FarmITS

Setelah dilakukan perhitungan kekuatan lelah pada 5 sambungan yang ada didapatkan hasil yang tidak memenuhi umur desain yaitu 20 tahun pada sambungan di titik B, oleh karena itu diberikan bracket sebagai tambahan penguat sekaligus untuk mengurangi tegangan yang berlebih pada struktur, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4-82.



Gambar 4-82 Pemberian bracket untuk mengurangi tegangan yang ada

Pada Gambar 4-83 terlihat bahwa nilai tegangan yang terjadi berkurang, namun tegangan yang besar terjadi berpindah ke sepanjang bracket.



Gambar 4-83 Tegangan nominal pada joint-B setelah diberi penguatan

Perbedaan tegangan yang terjadi pada sambungan dititik B dapat dilihat pada Tabel 4-8 dan jelas terlihat setelah ditambahkan penguat, perubahan besaran tegangan yang terjadi cukup besar yaitu sekitar 1,4 Mpa.

Tabel 4-8 Gaya tarik yang diberikan serta tegangan nominal yang dihasilkan (atas-desain asli dan bawah-desain penambahan bracket)

H (m)	F1	F2	F3	F4	σ A	σ B	σ C	σ D	σ E
	(Newton)				(Mpa)				
1,28	53905,01	54425,16	53774,2	54559,802	7,293	16,004	14,284	12,861	13,693
1,84	55102,9	55634,61	54969,19	55772,242	7,3944	16,226	14,484	13,0396	13,954
2,245	56300,79	56844,06	56164,17	56984,682	7,4958	16,503	14,684	13,2182	14,242
2,675	57498,68	58053,51	57359,15	58197,122	7,5972	16,781	14,885	13,3968	14,4206
3,14	58696,57	59262,96	58554,13	59409,562	7,6986	17,068	15,086	13,5754	14,5992
3,71	59894,46	60472,41	59749,11	60622,002	7,8	17,114	15,287	13,754	15,405

H (m)	F1	F2	F3	F4	σ A	σ B	σ C	σ D	σ E
	(Newton)				(Mpa)				
1,28	53905,01	54425,16	53774,2	54559,802	7,293	14,798	14,284	12,861	13,693
1,84	55102,9	55634,61	54969,19	55772,242	7,3944	14,812	14,484	13,0396	13,954
2,245	56300,79	56844,06	56164,17	56984,682	7,4958	14,992	14,684	13,2182	14,242
2,675	57498,68	58053,51	57359,15	58197,122	7,5972	15,287	14,885	13,3968	14,4206
3,14	58696,57	59262,96	58554,13	59409,562	7,6986	15,523	15,086	13,5754	14,5992
3,71	59894,46	60472,41	59749,11	60622,002	7,8	15,754	15,287	13,754	15,405

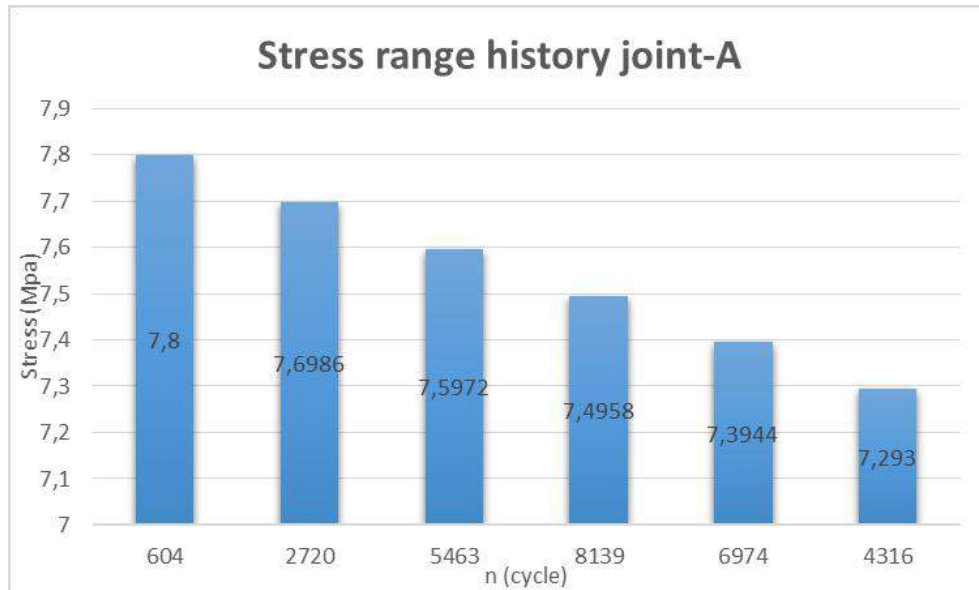
Umur struktur Ocean-FarmITS dapat dilihat pada Tabel 4-9 untuk di tiap titik jenis sambungan, pada sambungan B yang tadinya tidak memenuhi namun setelah ditambahkan struktur penguat maka nilai tegangannya berubah dan umur kelelahan struktur menjadi lebih besar.

Tabel 4-9 Umur kelelahan struktur Ocean-FarmITS (atas-asli dan bawah-diberi bracket pada joint B untuk menambah kekuatan serta mengurangi tegangan)

H (m)	n	Ni-A	Ni-B	Ni-C	Ni-D	Ni-E	n / Ni-A	n / Ni-B	n / Ni-C	n / Ni-D	n / Ni-E
1,28	4316	25414488	29492,35	78409,045	193335,699	112768,2	0,00016982	0,14634305	0,0550447	0,02232386	0,038273
1,84	6974	22568855	26197,28	69571,852	171712,569	95866,27	0,00019124	0,16474995	0,0620366	0,02513503	0,045021
2,245	8139	20074285	22648,21	61831,982	152754,095	80420,05	0,000215	0,19056694	0,0698021	0,02825456	0,053668
2,675	5463	17883569	19617,4	55009,131	136102,332	72246,72	0,00024134	0,22000879	0,0784597	0,03171143	0,05974
3,14	2720	15956356	16955,25	49015,96	121451,293	64989,76	0,00027049	0,25455245	0,088053	0,03553688	0,06641
3,71	604	14258086	16567,3	43742,472	108538,854	40943,42	0,00030271	0,26051322	0,0986684	0,03976456	0,105414
						D (20) =	0,00139059	1,23673441	0,4520644	0,18272633	0,368526
						Tahun	14382,3334	16,1716209	44,241486	109,453302	54,2702

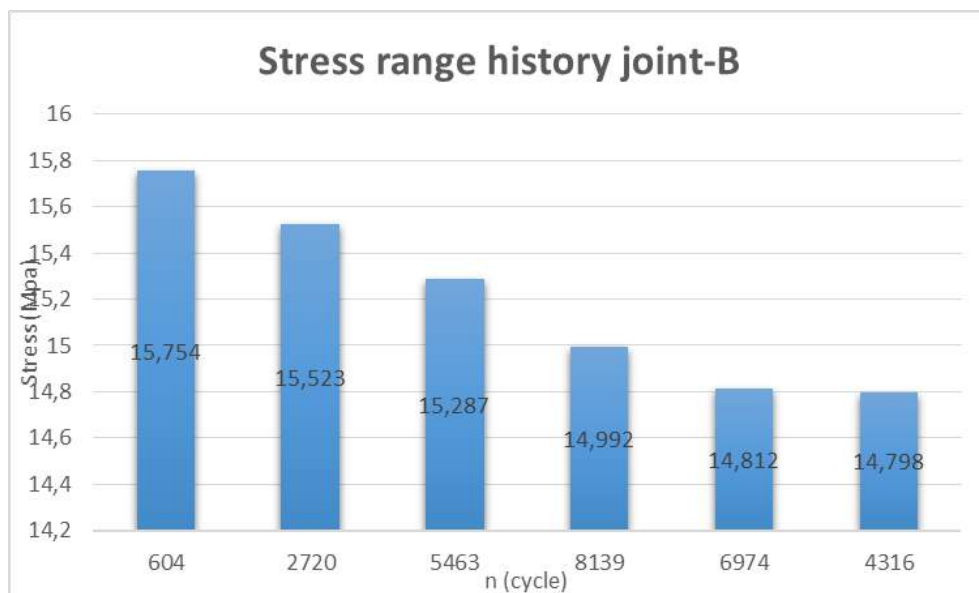
H (m)	n	Ni-A	Ni-B	Ni-C	Ni-D	Ni-E	n / Ni-A	n / Ni-B	n / Ni-C	n / Ni-D	n / Ni-E
1,28	4316	25414488	57853,39	78409,045	193335,699	112768,2	0,00016982	0,07460237	0,0550447	0,02232386	0,038273
1,84	6974	22568855	57384,81	69571,852	171712,569	95866,27	0,00019124	0,07521154	0,0620366	0,02513503	0,045021
2,245	8139	20074285	51722,85	61831,982	152754,095	80420,05	0,000215	0,08344474	0,0698021	0,02825456	0,053668
2,675	5463	17883569	43742,47	55009,131	136102,332	72246,72	0,00024134	0,09866841	0,0784597	0,03171143	0,05974
3,14	2720	15956356	38342,83	49015,96	121451,293	64989,76	0,00027049	0,11256342	0,088053	0,03553688	0,06641
3,71	604	14258086	33768,64	43742,472	108538,854	40943,42	0,00030271	0,12781089	0,0986684	0,03976456	0,105414
						D (20) =	0,00139059	0,57230137	0,4520644	0,18272633	0,368526
						Tahun	14382,3334	34,9466224	44,241486	109,453302	54,2702

Besar tegangan yang terjadi pada sambungan A dan jumlah siklus yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4-84 dimana tegangan terbesar yaitu 7,8 MPa dan yang terkecil adalah 7,293 MPa.



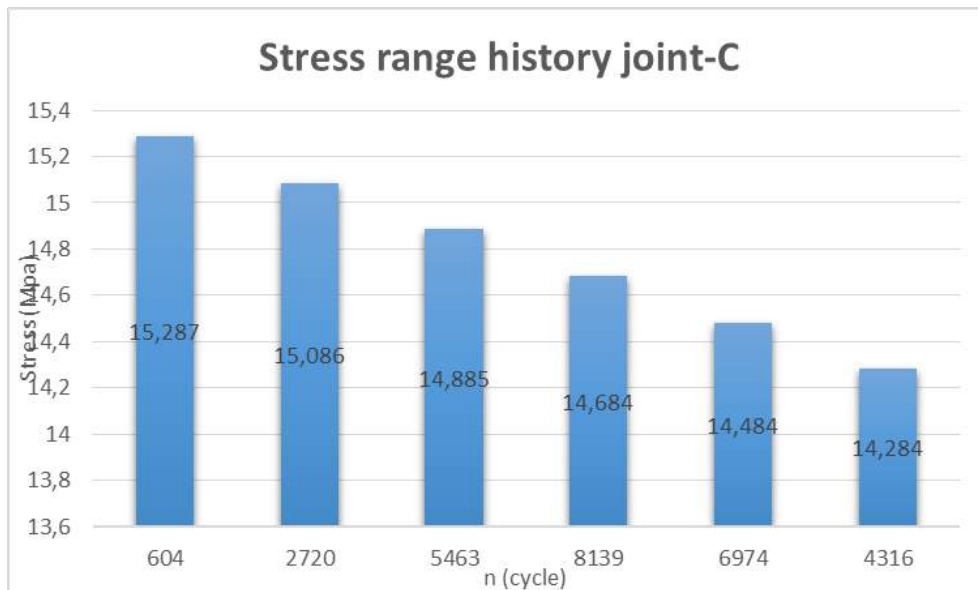
Gambar 4-84 Stress range history sambungan A Ocean-FarmITS

Untuk tegangan yang terjadi pada sambungan B dan jumlah siklus yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4-85 dimana tegangan terbesar yaitu 15,754 MPa dan yang terkecil adalah 15,798 MPa.



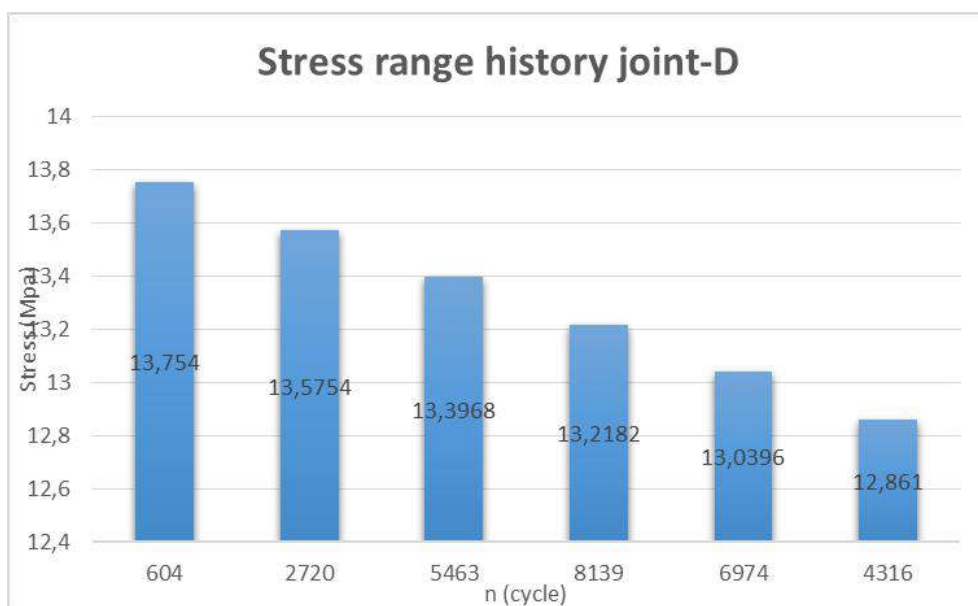
Gambar 4-85 Stress range history sambungan B Ocean-FarmITS

Untuk tegangan yang terjadi pada sambungan C dan jumlah siklus yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4-86 dimana tegangan terbesar yaitu 15,287 MPa dan yang terkecil adalah 14,284 MPa.



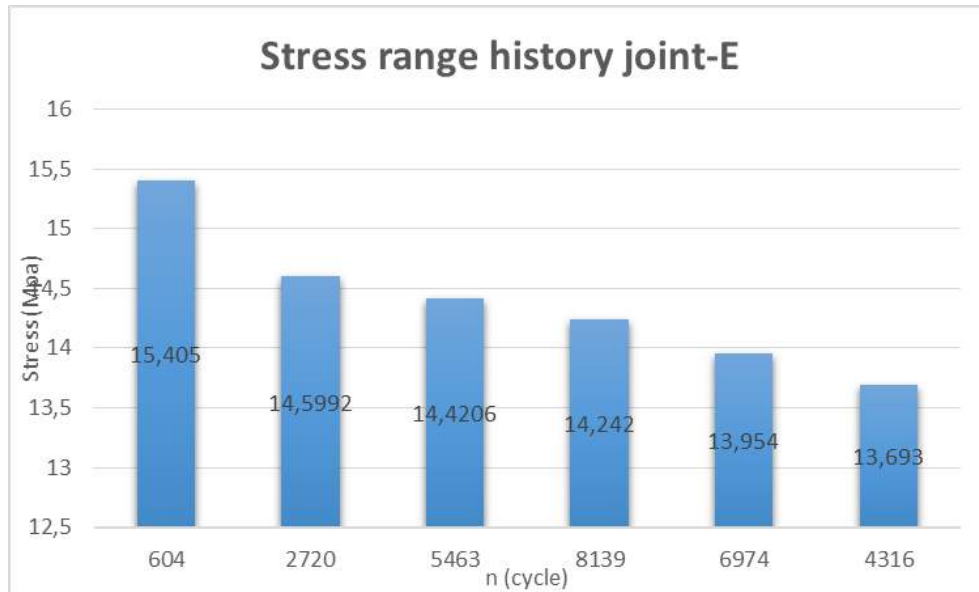
Gambar 4-86 Stress range history sambungan C Ocean-FarmITS

Untuk tegangan yang terjadi pada sambungan D dan jumlah siklus yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4-87 dimana tegangan terbesar yaitu 13,754 MPa dan yang terkecil adalah 12,863 MPa.



Gambar 4-87 Stress range history sambungan D Ocean-FarmITS

Untuk tegangan yang terjadi pada sambungan E dan jumlah siklus yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4-88 dimana tegangan terbesar yaitu 15,405 MPa dan yang terkecil adalah 13,693 MPa.



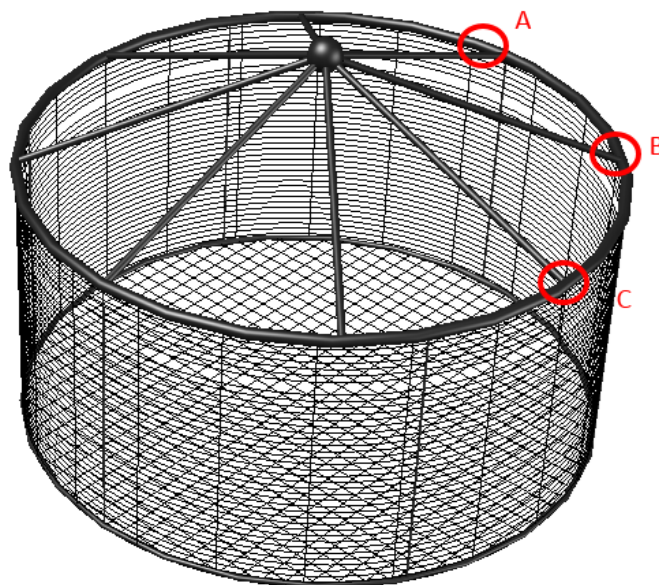
Gambar 4-88 Stress range history sambungan E Ocean-FarmITS

4.6.2 *FarmOcean*

Pada struktur ini terdapat dua jenis tumpuan yaitu pin di ujung tubular bagian tengah dan roll untuk tubular terluar serta berat struktur FarmOcean ini adalah 9,13 ton.

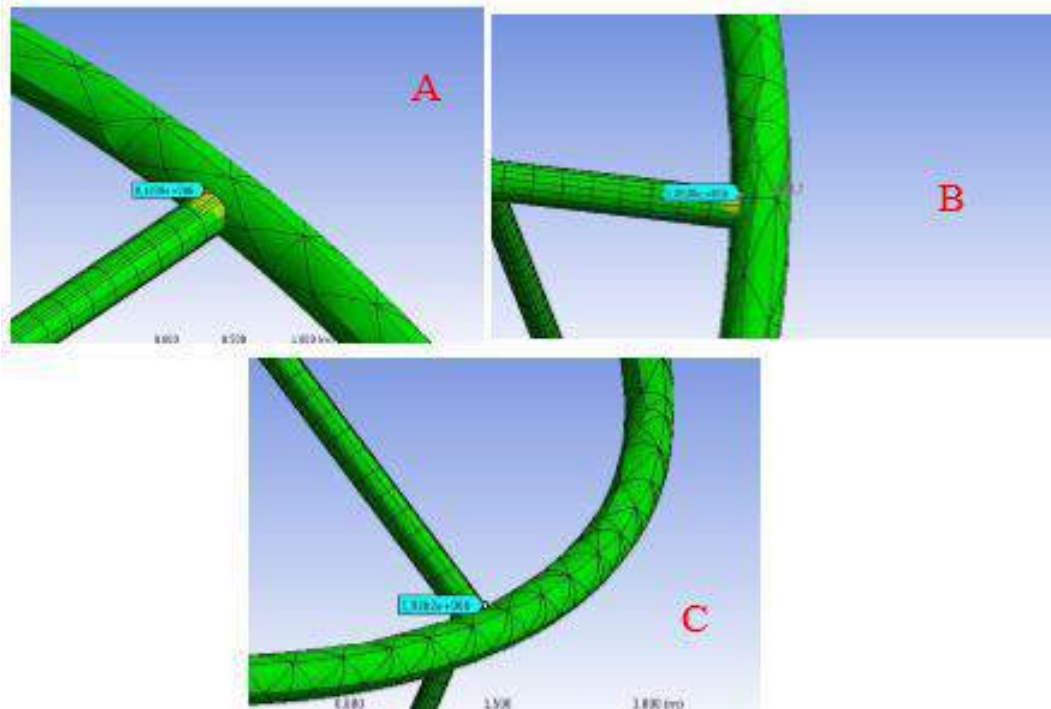
Besaran gaya tarik disesuaikan dengan hasil dari variasi tinggi gelombang yang di input, besaran tinggi gelombang terdapat pada 4.3.1

Untuk menganalisis kekuatan lelah, struktur ini dianalisis untuk 3 jenis sambungan yang berbeda, yaitu sambungan di titik A, titik B dan titik C. Hal ini terlihat pada Gambar 4-89.



Gambar 4-89 Sambungan yang ditinjau pada sturktur FarmOcean

Pada Gambar 4-89 terlihat bahwa nilai tegangan yang terjadi pada struktur FarmOcean yang nilai tegangannya bervariasi untuk tiap jenis sambungan.



Gambar 4-90 Tegangan nominal pada struktur Farm Ocean

Besaran gaya yang diberikan untuk variasi tiap tinggi gelombang dan hasil tegangan di tiap titik sambungan A, B dan C dapat dilihat pada Tabel 4-10.

Tabel 4-10 Besar gaya tarik dan tegangan yang terjadi pada tiap sambungan FarmOcean

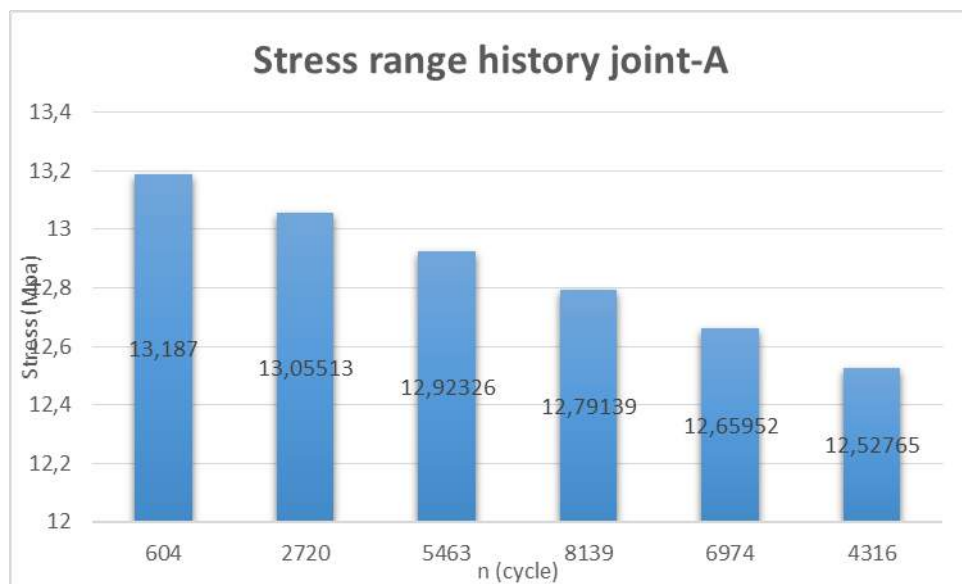
H (m)	F1	F2	F3	F4	σ A	σ B	σ C
	(Newton)				(Mpa)		
1,28	18317,96	18332,45	19893,18	20066,466	12,52765	9,60564	8,7514
1,84	18725,02	18739,84	20335,25	20512,388	12,65952	9,706752	8,84352
2,245	19132,09	19147,23	20777,33	20958,309	12,79139	9,807864	8,93564
2,675	19539,15	19554,62	21219,4	21404,231	12,92326	9,908976	9,02776
3,14	19946,22	19962,01	21661,47	21850,152	13,05513	10,01009	9,11988
3,71	20353,28	20369,39	22103,54	22296,073	13,187	10,1112	9,212

Umur struktur FarmOcean diambil pada sambungan yang memiliki nilai terkecil, umur kelelahan struktur ini dapat dilihat pada Tabel 4-11.

Tabel 4-11 Umur kelelahan struktur pada FarmOcean

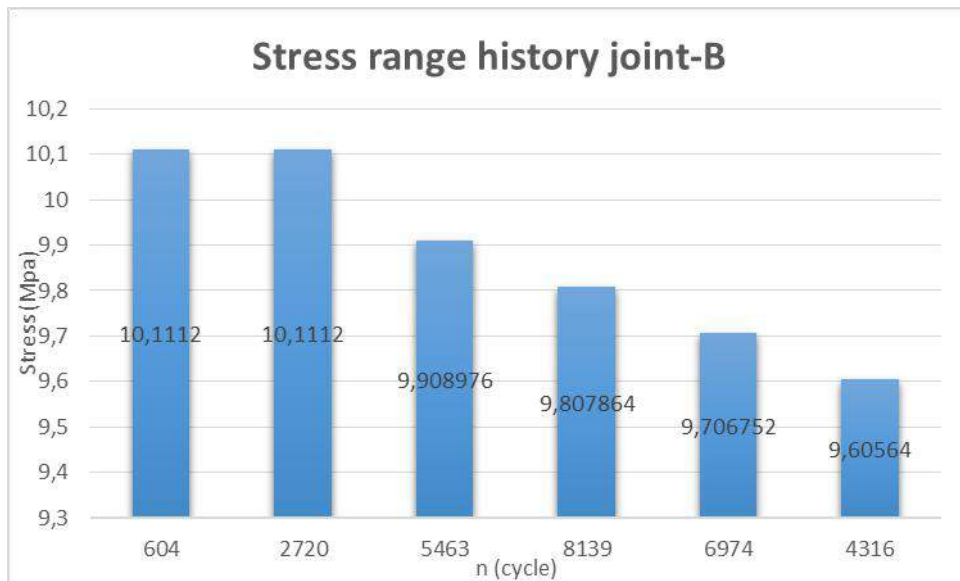
H (m)	n	Ni-A	Ni-B	Ni-C	n / Ni-A	n / Ni-B	n / Ni-C
1,28	4316	242323,8	2378749	5299171,9	0,01781088	0,001814	0,00081447
1,84	6974	221455,5	2173897	4842820,9	0,01948924	0,001985	0,00089122
2,245	8139	202573,3	1988542	4429901,8	0,02130587	0,00217	0,00097429
2,675	5463	185470,5	1820654	4055895,5	0,02327054	0,002371	0,00106413
3,14	2720	169963,8	1668434	3716792,7	0,02539364	0,002587	0,00116122
3,71	604	155890,3	1530282	3409031,5	0,02768613	0,00282	0,00126605
D (20) =					0,1349563	0,013748	0,00617137
Tahun					148,196121	1454,753	3240,77364

Rentang tegangan yang terjadi pada tiap gelombang akan menghasilkan tegangan yang bervariasi dengan jumlah siklus yang berbeda untuk masing-masing besar tegangan, untuk rentang tegangan sambungan titik A pada struktur FarmOcean dapat dilihat pada Gambar 4-91.



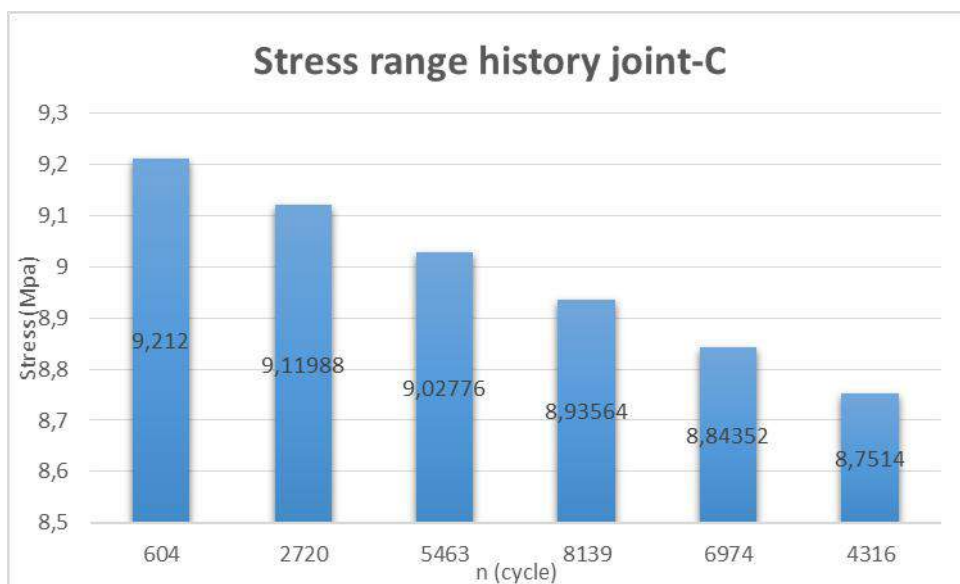
Gambar 4-91 Stress range history sambungan A FarmOcean

Untuk sambungan titik B besar tegangan dan jumlah siklus yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4-92.



Gambar 4-92 Stress range history sambungan B FarmOcean

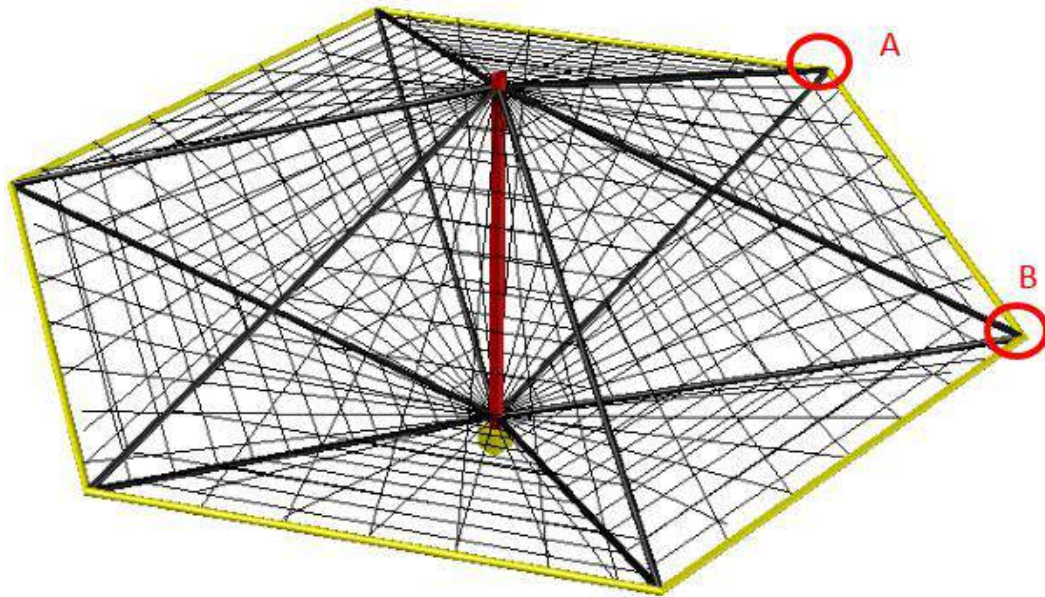
Untuk sambungan dititik C besar tegangan dan jumlah siklus yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4-93.



Gambar 4-93 Stress range history sambungan C FarmOcean

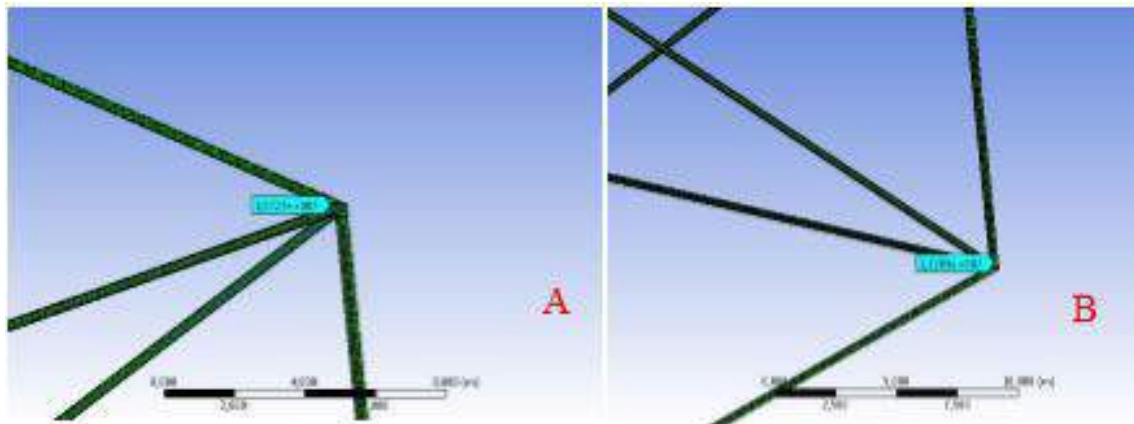
4.6.3 SeaStation

Pada struktur ini terdapat dua jenis tumpuan yaitu pin di ujung tubular bagian tengah dan roll untuk tubular terluar serta berat struktur SeaStation ini adalah 4,679. Untuk menganalisis kekuatan lelah, struktur ini dianalisis untuk 2 jenis sambungan yang berbeda, yaitu sambungan di titik A dan titik B. Hal ini terlihat pada Gambar 4-94.



Gambar 4-94 Sambungan yang dianalisis pada struktur SeaStation

Tegangan pada sambungan di titik A dan di titik B memiliki nilai tegangan yang berbeda dimana tegangan pada sambungan B lebih besar daripada sambungan A, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4-95.



Gambar 4-95 Tegangan nominal pada struktur Sea Station

Besaran gaya tarik tali dan tegangan nominal yang dihasilkan untuk struktur SeaStation di sambungan A dan sambungan B dapat dilihat pada Tabel 4-12.

Tabel 4-12 Besaran gaya tali dan tegangan yang dihasilkan pada struktur SeaStation

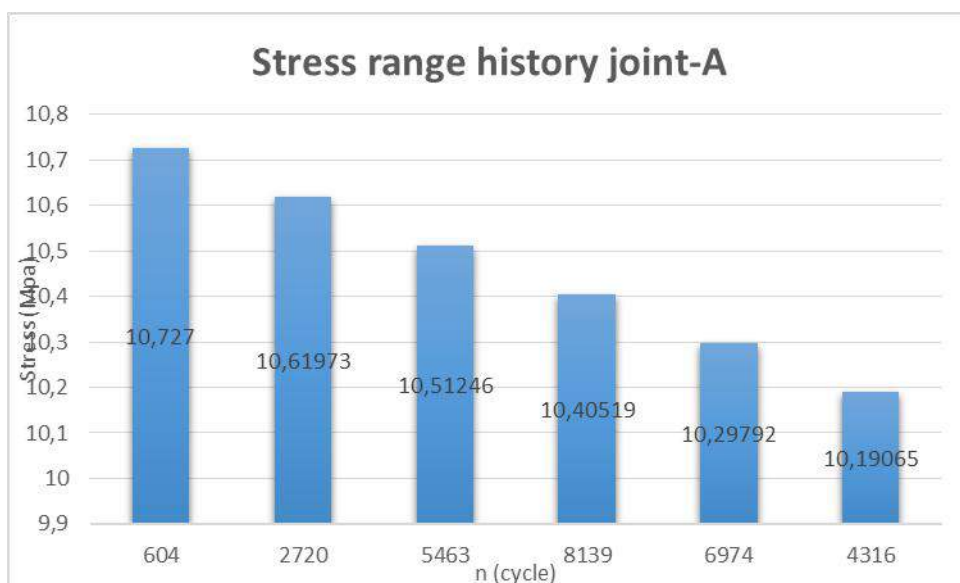
H (m)	F1	F2	F3	F4	σ A	σ B
	(Newton)				(Mpa)	
1,28	18090,22	18098,02	17046,63	17091,78	10,19065	11,6052
1,84	18492,22	18500,2	17425,45	17471,597	10,29792	11,72736
2,245	18894,23	18902,38	17804,26	17851,415	10,40519	11,84952
2,675	19296,23	19304,56	18183,08	18231,232	10,51246	11,97168
3,14	19698,24	19706,74	18561,89	18611,049	10,61973	12,09384
3,71	20100,24	20108,91	18940,7	18990,867	10,727	12,216

Pada Tabel 4-13 umur kelelahan struktur SeaStation dapat terlihat bahwa struktur B memiliki nilai yang paling kecil maka itulah umur yang kita ambil.

Tabel 4-13 Umur kelelahan struktur SeaStation

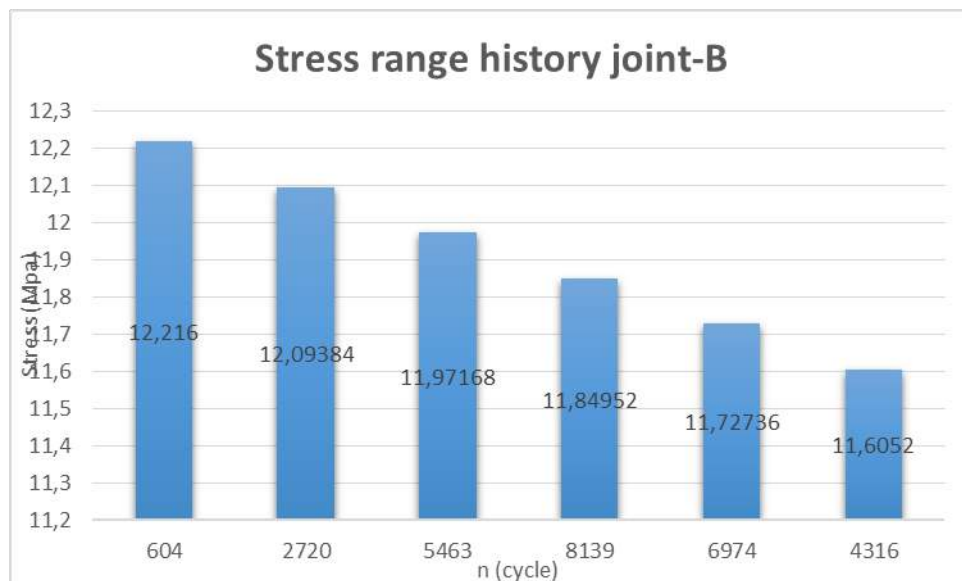
H (m)	n	Ni-A	Ni-B	n / Ni-A	n / Ni-B
1,28	4316	1430667	467802,1	0,0030168	0,00922612
1,84	6974	1307462	427516,2	0,0033011	0,01009552
2,245	8139	1195982	391064,4	0,0036087	0,01103655
2,675	5463	1095008	358047,7	0,0039415	0,01205426
3,14	2720	1003457	328112,3	0,0043011	0,01315403
3,71	604	920368,2	300943,7	0,0046894	0,01434155
D (20) =				0,0228587	0,06990804
Tahun				874,94202	286,090135

Rentan tegangan untuk di sambungan A mulai dari tegangan terbesar sampai yang terkecil serta jumlah siklus yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4-96.



Gambar 4-96 Stress range history sambungan A SeaStation

Untuk rentan tegangan untuk di sambungan B mulai dari tegangan terbesar sampai yang terkecil serta jumlah siklus yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4-97.



Gambar 4-97 Stress range history sambungan B SeaStation

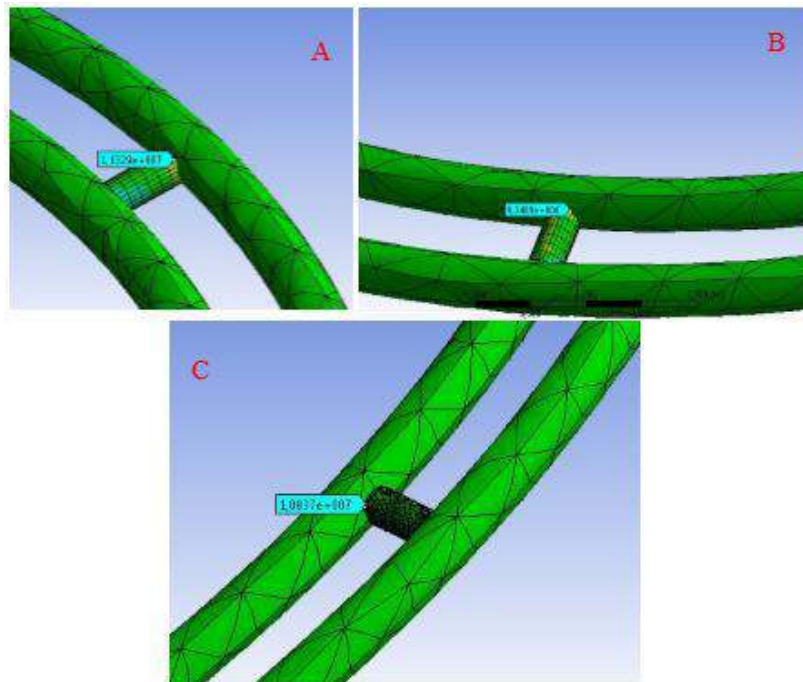
4.6.4 Collar Cage

Pada struktur ini terdapat dua jenis tumpuan yaitu pin di ujung tubular satu dan roll di ujung satunya sedangkan massa struktur Collar Cage ini adalah 4,351 ton. Untuk menganalisis kekuatan lelah, struktur ini dianalisis untuk 3 jenis sambungan yang berbeda, yaitu sambungan di titik A, titik B dan titik C. Hal ini terlihat pada Gambar 4-98



Gambar 4-98 Sambungan yang dianalisis pada struktur Collar Cage

Pada Gambar 4-99 struktur Collar Cage dilihat tegangan untuk tiga titik sambungan A, B dan C ketiga titik tersebut memiliki nilai yang tidak terlalu berbeda jauh.



Gambar 4-99 Besar tegangan nominal yang terjadi pada struktur Collar Cage

Besaran gaya tarik tali *mooring* yang diberikan pada struktur Collar Cage ini dapat dilihat pada Tabel 4-14 dan tegangan yang terjadi pada tiap-tiap titik sambungan juga ditunjukkan masing-masing nilainya.

Tabel 4-14 Gaya tegangan tali dan besar tegangan pada struktur Collar Cage

H (m)	F1	F2	F3	F4	σ A	σ B	σ C
	(Newton)				(Mpa)		
1,28	44023,13	43393,36	57258,38	57467,202	13,28784	10,29534	8,881455
1,84	45001,42	44357,66	58530,79	58744,251	13,427712	10,40371	8,974944
2,245	45979,71	45321,95	59803,2	60021,3	13,567584	10,51208	9,068433
2,675	46958	46286,25	61075,6	61298,349	13,707456	10,62046	9,161922
3,14	47936,29	47250,55	62348,01	62575,398	13,847328	10,72883	9,255411
3,71	48914,59	48214,85	63620,42	63852,447	13,9872	10,8372	9,3489

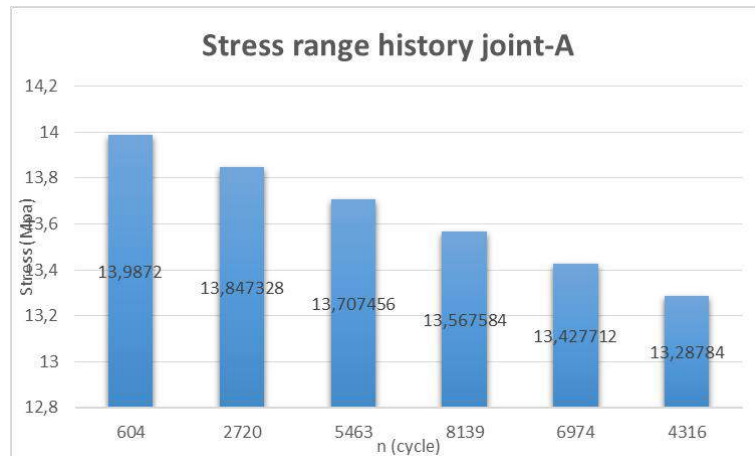
Umur kelelahan struktur yang diambil adalah umur struktur pada sambungan di titik A karena pada sambungan di titik tersebut umur nilainya paling kecil karena dalam menentukan umur struktur ditentukan berdasarkan kemungkinan paling rentan seperti yang terlihat pada

Tabel 4-15.

Tabel 4-15 Umur kelelahan struktur pada Collar Cage

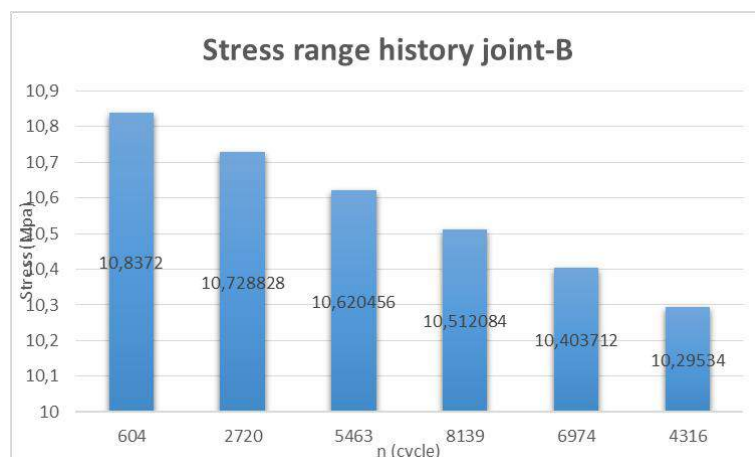
H (m)	n	Ni-A	Ni-B	Ni-C	n / Ni-A	n / Ni-B	n / Ni-C
1,28	4316	146004,8	1310282	4667790,7	0,02956068	0,003294	0,00092463
1,84	6974	133431,2	1197444	4265812,6	0,03234625	0,003604	0,00101177
2,245	8139	122054,3	1095345	3902091,6	0,03536131	0,00394	0,00110607
2,675	5463	111749,6	1002868	3572647,2	0,03862208	0,004304	0,00120807
3,14	2720	102406,5	919020,4	3273947,5	0,04214578	0,004696	0,00131829
3,71	604	93926,91	842922,9	3002855,1	0,04595062	0,00512	0,0014373
D (20) =					0,22398671	0,024959	0,00700613
Tahun					89,2910111	801,3192	2854,64473

Rentan tegangan untuk variasi enam (6) tinggi gelombang dengan jumlah siklus kejadian yang terjadi pada titik sambungan A dapat dilihat pada Gambar 4-100.



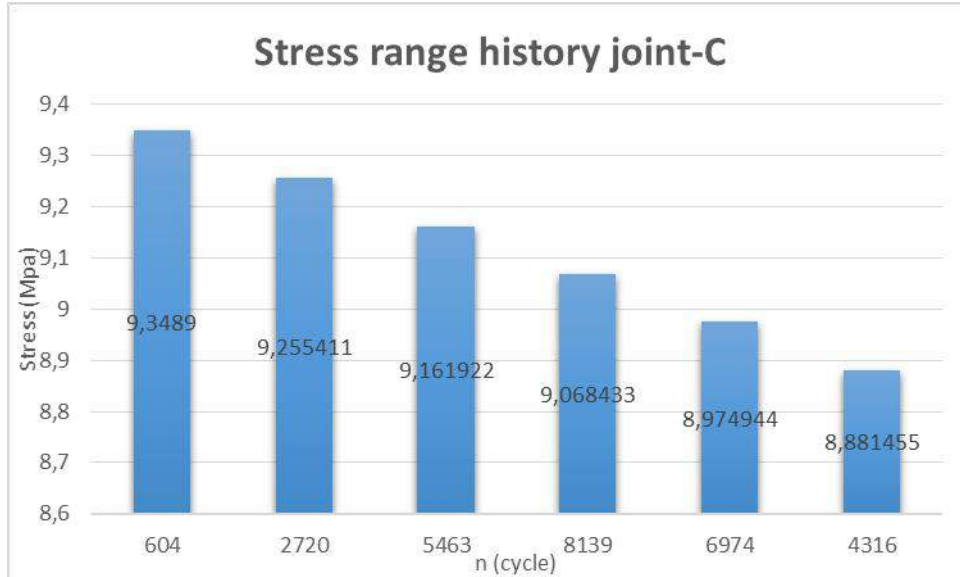
Gambar 4-100 Stress range history sambungan A Collar Cage

Pada sambungan di titik B *stress range history* dari beberapa variasi tinggi gelombang dapat dilihat pada Gambar 4-101.



Gambar 4-101 Stress range history sambungan B Collar Cage

Pada sambungan di titik C *stress range history* dari beberapa variasi tinggi gelombang dapat dilihat pada Gambar 4-102.



Gambar 4-102 Stress range history sambungan C Collar Cage

4.7 Ringkasan Teknis

Dari beberapa proses analisis yang telah dilakukan seperti permodelan struktur, analisis respon gerak dan analisis kekuatan lelah maka didapatkan beberapa ringkasan hasil yang akan disajikan pada 4.7.1, 4.7.2 dan 4.7.3. Untuk ukuran keempat struktur yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 4-16.

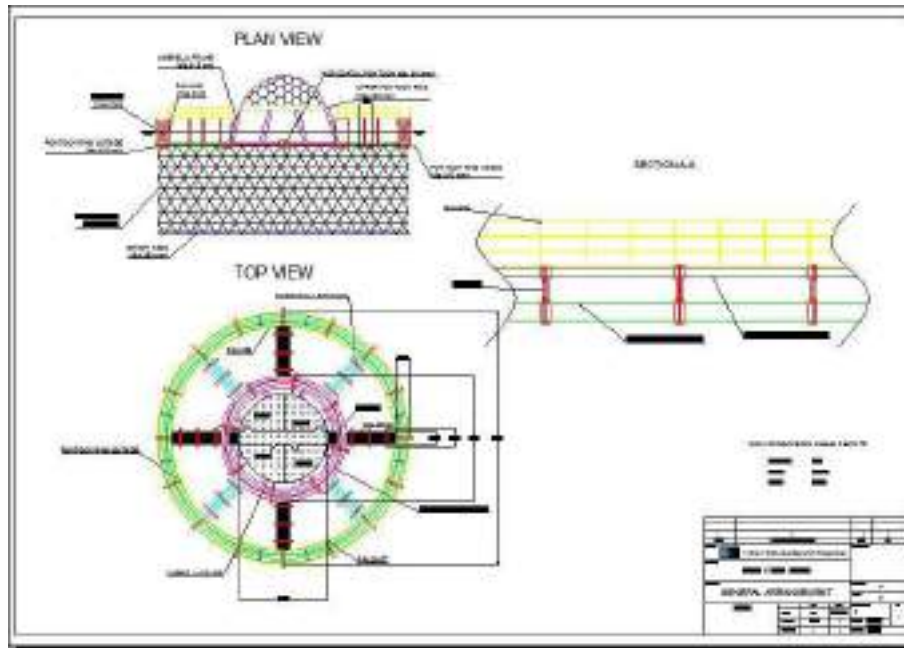
Tabel 4-16 Ukuran struktur akuakultur untuk keempat model

	Diameter Cage (m)	Depth (m)	Volume (m ³)
Ocean FarmITS	28	11,75	6160
Farm Ocean	25	12	6029
Sea Station	42	16	6342
Collar Cage	26	12	6373

Ukuran keempat struktur diatas berbeda diameter serta kedalamannya akan tetapi volume keramba untuk ikan sama yaitu berkisar 6000 m³.

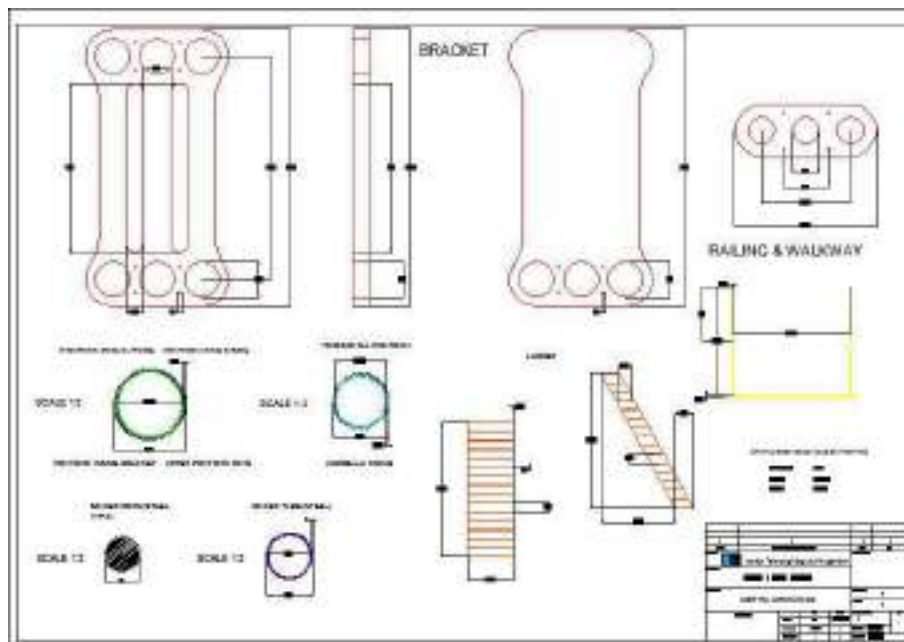
4.7.1 Desain inovasi (Ocean-FarmITS)

Gambar rencana umum (*Genereal Arrangement*) dari struktur akuakultur yaitu Ocean-FarmITS dapat dilihat pada Gambar 4-103.



Gambar 4-103 General Arrangement dari Ocean-FarmITS

Struktur ini merupakan penggabungan ide dari FarmOcean dan Collar Cage akan tetapi struktur ini memiliki akses jalan yang mengelilingi struktur serta ruangan yang dibagi menjadi 4 bagian ditengah struktur dengan luas bangunan atas akomodasi yaitu berdiameter 10 m. Untuk gambar detail *bracket*, *railing*, *walkway*, *floater* dan *ladder* dapat dilihat pada Gambar 4-104.

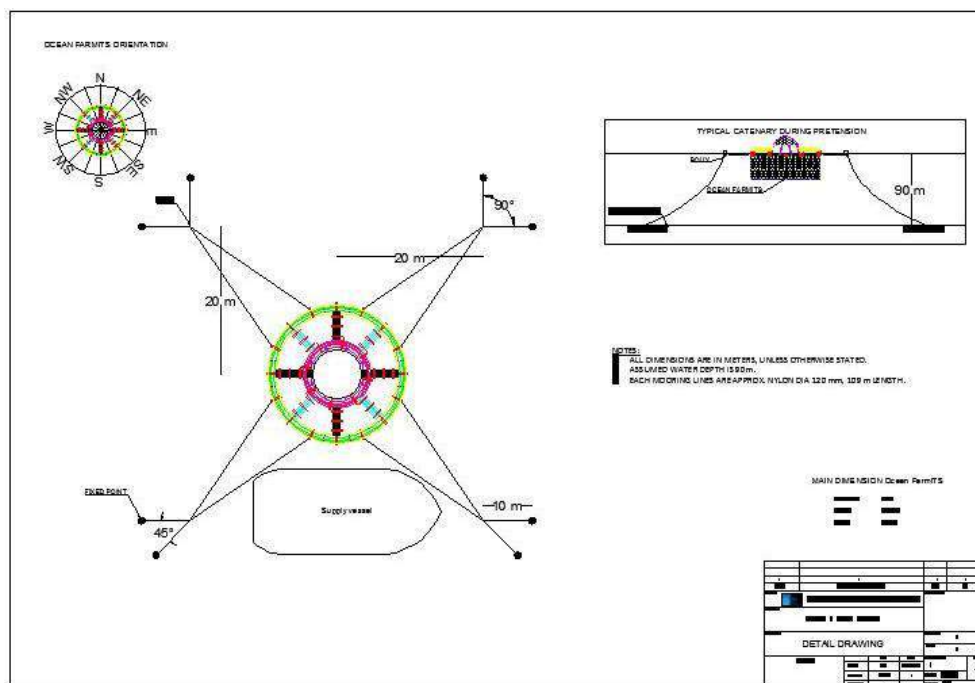


Gambar 4-104 Detail drawing bracket, ladder and HDPE tubular

Terdapat 3 jenis *bracket* yang dipakai pada struktur Ocean-FarmITS, dimana *bracket* tersebut memiliki ketebalan 200 mm ,tangga dengan ketebalan 9,6 mm, pagar serta jalan memiliki ketebalan 15,3 mm. Sedangkan untuk pipa tubular struktur sebagai pengapung memiliki ketebalan antara 15,3 mm dan 12,1 mm.

Semua struktur yang dirancang menggunakan bahan HDPE (*High Density Poly Ethilene*) dimana struktur tersebut cukup kuat namun memiliki massa jenis yang lebih kecil dari air laut yaitu $0,956 \text{ ton/m}^3$.

Konfigurasi mooring *rectangular array* yang digunakan digambarkan pada Gambar 4-105 dimana 4 buoy digunakan serta 8 titik jangkar tetap digunakan.

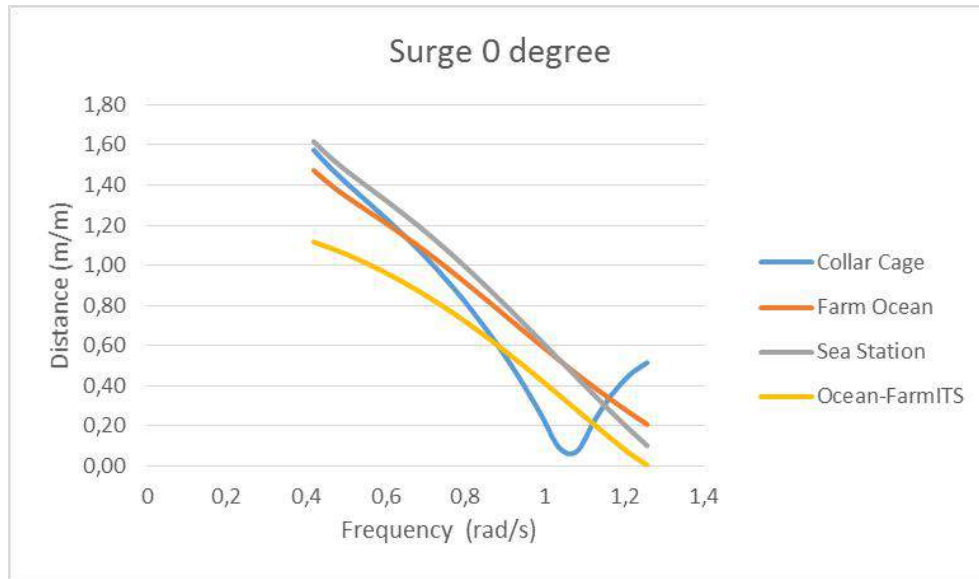


Gambar 4-105 Mooring layout Ocean-FarmITS

Kedalaman yang didesain adalah 90 m dari dasar laut (*sea bed*) dan tali yang digunakan adalah nylon.

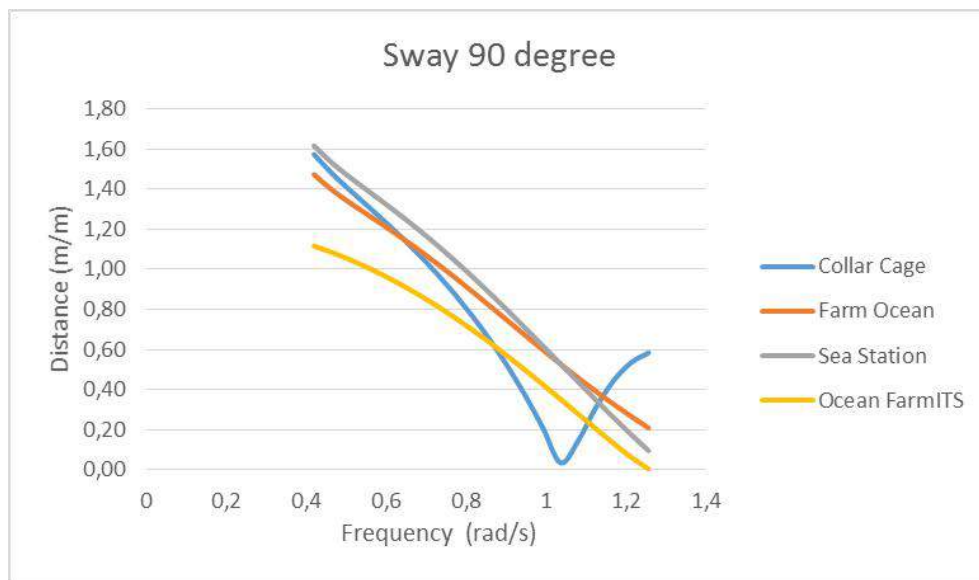
4.7.2 Respon Gerak dan *Mooring Tension Force*

Karakteristik respon gerak dari 6 derajat kebebasan yaitu *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw* telah dibandingkan untuk keempat strukturnya. Komparasi nilai respon gerak untuk masing-masing gerakan tersebut telah disajikan pada Gambar 4-106 sampai dengan Gambar 4-111 sedangkan nilai tegangan tali tambat (*mooring tension*) dapat dilihat pada Gambar 4-112.



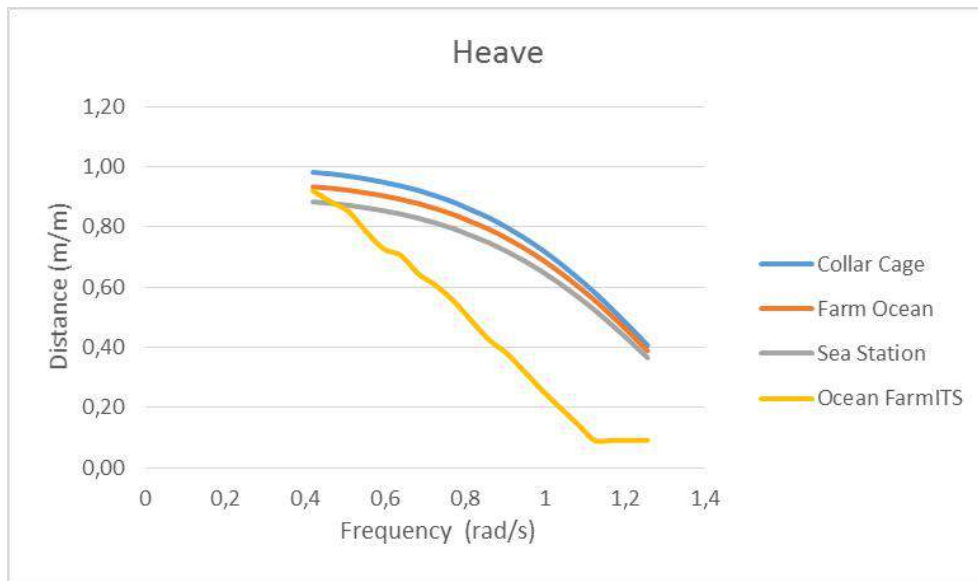
Gambar 4-106 Perbandingan nilai respon gerakan surge untuk semua struktur akuakultur

Gerakan *surge* untuk keempat struktur pada rentan frekuensi 0,4 rad/s sampai dengan 1,25 rad/s memiliki nilai yang bersifat sama yaitu menurun namun untuk struktur Collar Cage mengalami kenaikan setelah penurunan pada frekuensi 1,05 rad/s sedangkan Ocean FarmITS memiliki nilai gerakan surge yang paling kecil.



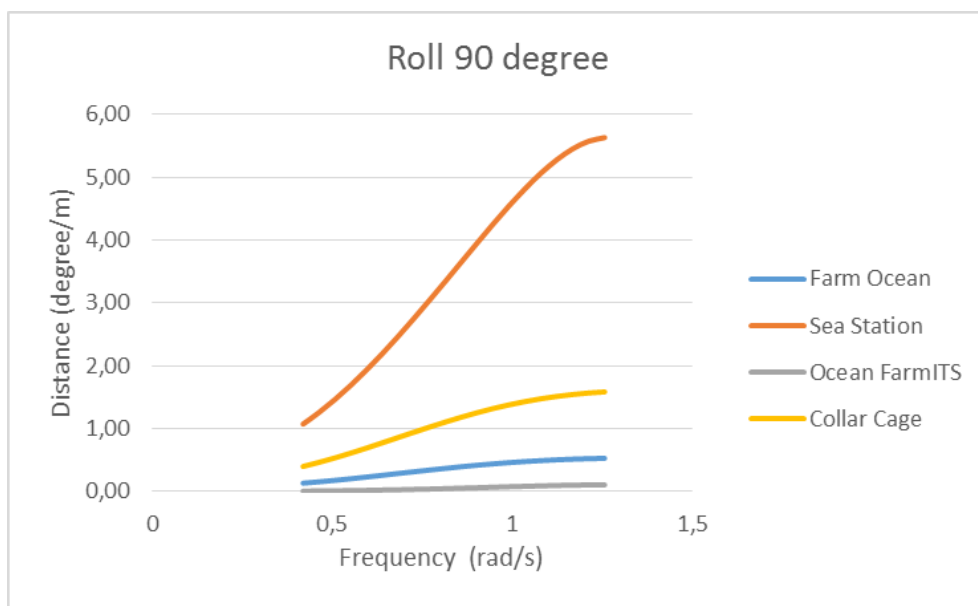
Gambar 4-107 Perbandingan nilai respon gerakan sway untuk semua struktur akuakultur

Untuk gerakan *sway* Ocean FarmITS memiliki nilai yang paling kecil akan tetapi berbeda halnya dengan struktur Collar Cage juga memiliki kenaikan seperti halnya pada gerakan surge pada frekuensi 1,05 rad/s.



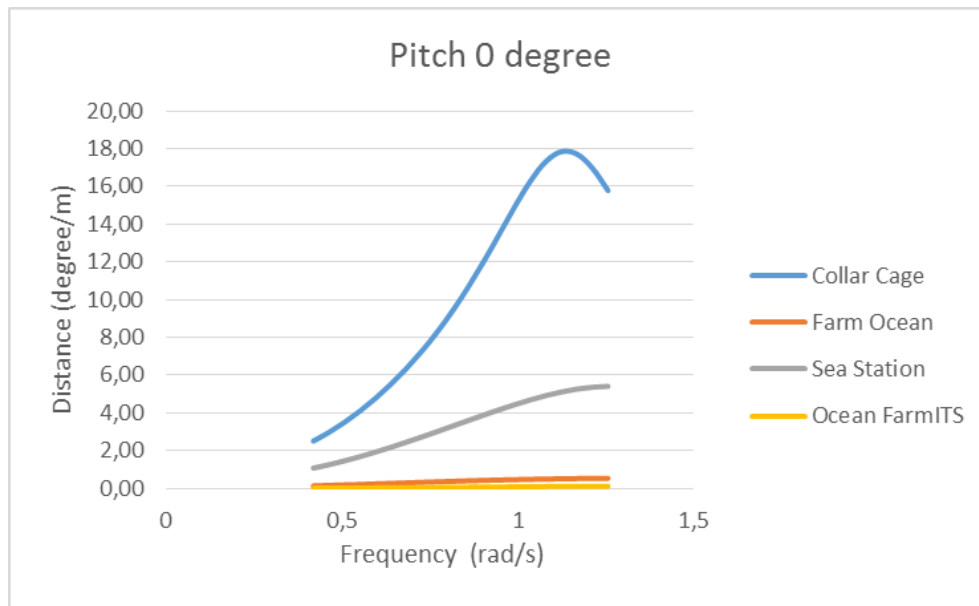
Gambar 4-108 Perbandingan nilai respon gerakan heave untuk semua struktur akuakultur

Keempat struktur untuk gerakan *heave* memiliki nilai yang berbeda sedikit akan tetapi hanya Ocean FarmITS memiliki penurunan yang drastis dalam rentan frekuensi 0,4 rad/s sampai dengan 1,1 rad/s setelah itu respon gerakannya menjadi sangat kecil.



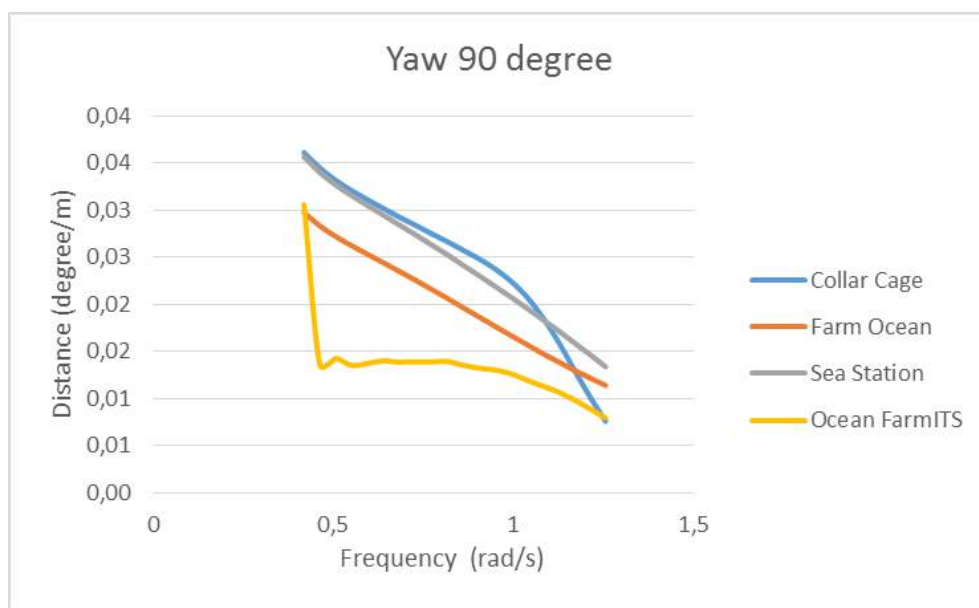
Gambar 4-109 Perbandingan nilai respon gerakan roll untuk semua struktur akuakultur

Pada gerakan roll struktur SeaStation memiliki nilai respon gerak tertinggi yaitu 5,5 derajat/m dan Ocean FarmITS memiliki nilai roll yang sangat kecil dan relatif stabil. Dimana tidak sampai 0,2 derajat/m respon gerakannya.



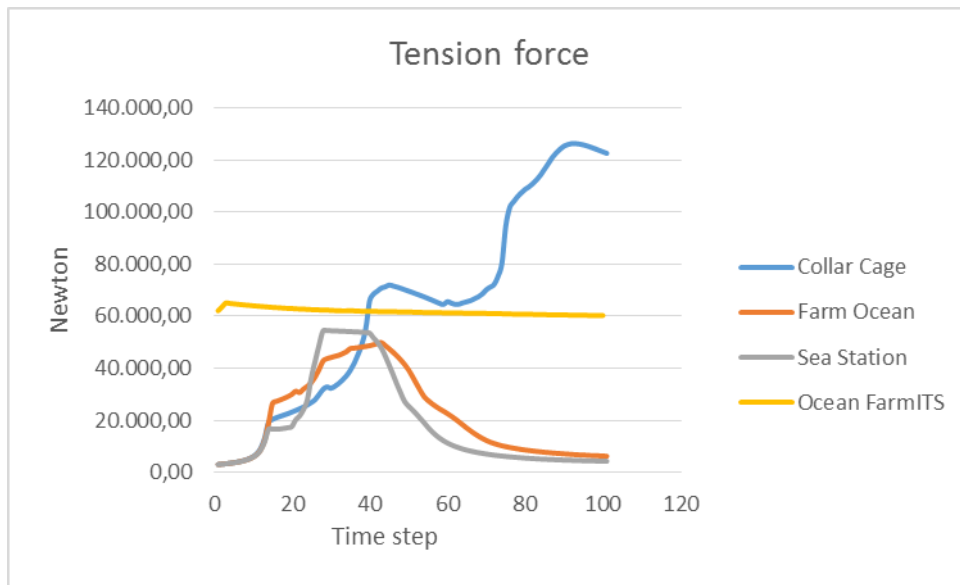
Gambar 4-110 Perbandingan nilai respon gerakan pitch untuk semua struktur akuakultur

Untuk gerakan *pitch* FarmOcean dan Ocean FarmITS memiliki respon gerak yang kecil akan tetapi Collar Cage nilai responnya sangat tinggi sampai dengan 17,8 derajat/m. Ocean-FarmITS memiliki nilai yang stabil mulai dari frekuensi 0,4 rad/s sampai dengan 1,3 rad/s.



Gambar 4-111 Perbandingan nilai respon gerakan sway untuk semua struktur akuakultur

Respon gerak *yaw* Ocean FarmITS memiliki nilai yang paling kecil akan tetapi dari semua struktur tersebut dapat disimpulkan bahwa keempat struktur mengalami gerakan rotasi *yaw* sangat kecil yaitu dibawah 0,04 derajat/m.



Gambar 4-112 Nilai tegangan tali pada masing masing struktur akuakultur

Gaya tegangan tali maksimum yang didapatkan dari struktur akuakultur sangat bervariasi untuk 100 *time step*, dari komparasi tersebut dapat disimpulkan bahwa Collar Cage memiliki tegangan tali yang paling besar sedangkan FarmOcean dan SeaStation hampir sama relatif lebih kecil namun struktur Ocean FarmITS memiliki tegangan tali yang relatif stabil.

4.7.3 Analisis kekuatan lelah

Dari keempat jenis struktur yang dianalisis yaitu Ocean-FarmITS (desain inovasi), SeaStation, FarmOcean dan Collar Cage. Masing-masing memiliki berat struktur, titik berat, bentuk, konfigurasi serta karakteristik yang berbeda-beda. Umur kelelahan yang telah dianalisis menggunakan metode deterministik *probabilistic damage* maka didapatkan umur kelelahan struktur sebagai berikut:

1. Ocean-FarmITS : 34,94 tahun
2. FarmOcean : 148,19 tahun
3. SeaStation : 286,09 tahun
4. Collar Cage : 89,29 tahun

BAB 5.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pembuatan model akuakultur lepas pantai yang diberi nama Ocean FarmITS merupakan desain inovasi yang berangkat dari penggabungan serta modifikasi struktur yang telah ada, dari 4 (empat) model yang didesain maka didapatkan beberapa hal berikut:

1. Desain Ocean-FarmITS yang merupakan desain Inovasi memberikan beberapa kemudahan seperti akses jalan diatas struktur untuk memudahkan dalam pengawasan serta diberikan akomodasi ditengah-tengah struktur berbentuk lingkaran dengan luas $78,5 \text{ m}^2$. Selain itu struktur ini dapat menampung pengunjung apabila ingin melihat budidaya ikan ditengah laut secara langsung serta struktur ini nyaman untuk pengunjung apabila berada diatas struktur ini dikarenakan gerakan *rolling* dan *pitching* yang sangat kecil yaitu dibawah 2 derajat/m gelombang.
2. Respon gerak Ocean-FarmITS sangat kecil untuk setiap gerakan baik translasi maupun rotasi, untuk gerakan surge dan sway respon gerak maksimumnya hanya 1,1 m/m dan heave maksimum sebesar 0,9 m/m. Pada gerakan rotasi seperti roll, pitch dan yaw respon geraknya tidak sampai 0,3 °/m hal ini membuktikan bahwa desain inovasi struktur akuakultur ini cukup stabil.
3. Analisis kekuatan lelah dari struktur akuakultur adalah sebagai berikut:
 - Pada Ocean Farm-ITS dengan berat struktur 9,16 ton ini menghasilkan tegangan nominal sebesar 15,754 MPa dengan umur kelelahan strukturnya 34,94 tahun.
 - Pada FarmOcean dengan berat struktur 9,13 ton ini menghasilkan tegangan nominal sebesar 13,187 MPa dengan umur kelelahan strukturnya 148,19 tahun.
 - Pada Collar Cage dengan berat struktur 4,351 ton ini menghasilkan tegangan nominal sebesar 13,98 MPa dengan umur kelelahan strukturnya 89,29 tahun.
 - Pada SeaStation dengan berat struktur 4,679 ton ini menghasilkan tegangan nominal sebesar 12,216 MPa dengan umur kelelahan strukturnya 286,09 tahun.

5.2 Saran

- Dalam mendesain struktur akuakultur lepas pantai perlu dipertimbangkan kekuatan antar sambungan karena sebuah *joint* pada HDPE tidak sama sifatnya seperti las-lasan pada struktur baja.
- Geometri yang didesain dari struktur berbahan HDPE perlu diketahui lebih lanjut apakah dapat diproduksi dengan mudah atau tidak mungkin seperti halnya bracket.
- Berat struktur dan bouyancy struktur tidak boleh terlalu jauh karena apabila struktur terlalu ringan maka gerakan pada 6 *degree of freedom* akan terlalu besar.
- Analisis drag pada jaring apabila ingin dilakukan maka memodelkan jaring dalam bentuk 3 dimensi akan terlalu sulit mengingat luasan permukaan yang kecil serta terlalu banyak nodes serta elemennya apabila dibuat oleh karena itu perlu dilakukan dengan perangkat aplikasi yang mendukung.

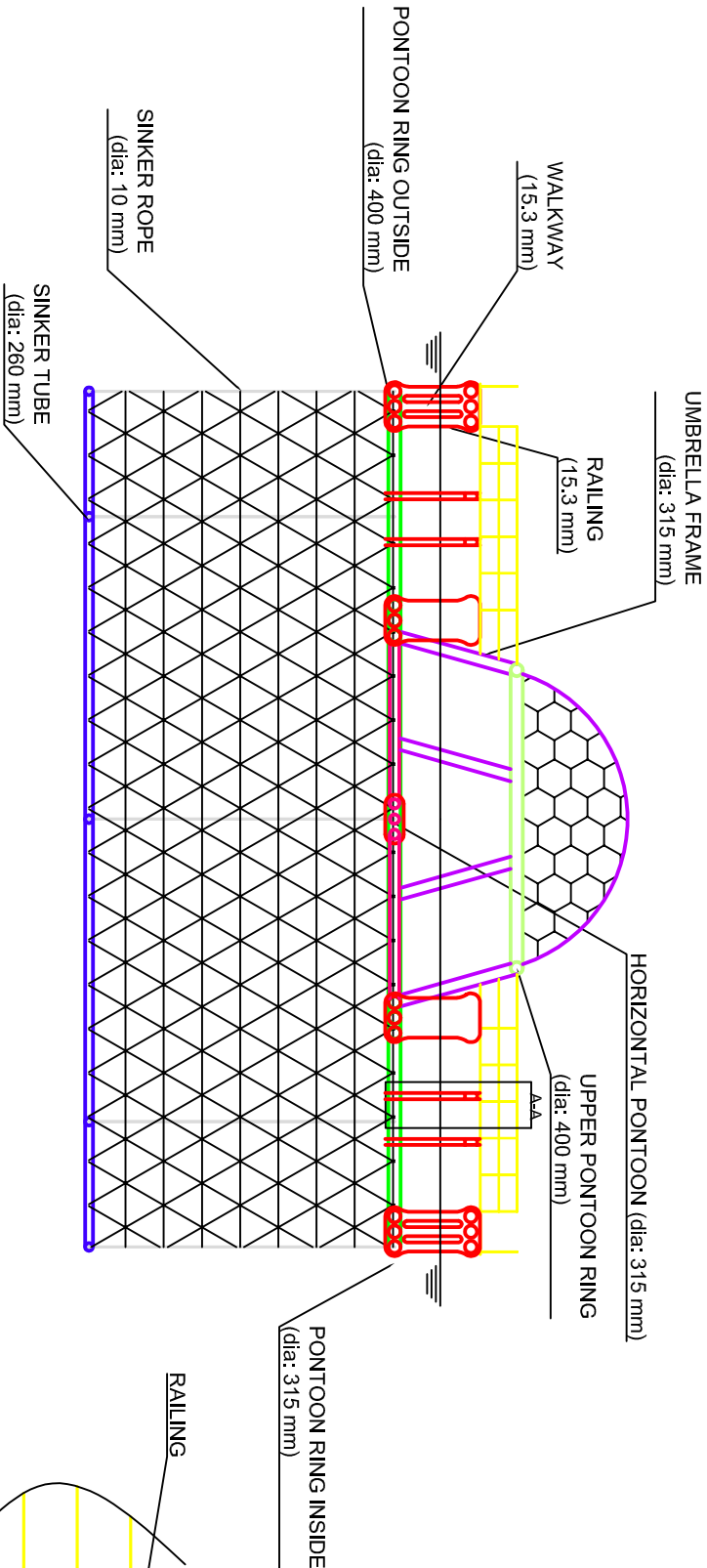
DAFTAR PUSTAKA

- ABC MOORINGS. "Mooring Layout Types." Accessed March 16, 2017. <http://abc-moorings.weebly.com/mooring-systems.html>.
- Alfredo Emmanuel Vazques Olivares. "Design of A Cage Culture System for Farming in Mexico." The United Nation University, 2003.
- American Petroleum Institute. "Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures, Third Edition," October 2005.
- Badan Informasi Geospasial. "Atlas Nasional Indonesia," 2011. www.bakosurtanal.go.id.
- Benseddiq N., S. Zengah. "Uniaxial Fatigue of HDPE-100 Pipe (Experimental Analysis)." *Engineering, Technology & Applied Science Research* 4 No. 2, 2014, 600-604 (2015): 5.
- D.C.B. Scott, and J.F Muir. "Offshore Cage Systems - A Practical Overview." *Institute of Aquaculture, University of Stirling*, 2000, 12.
- detik.com. "Ini Daerah Kaya Ikan Tuna di Indonesia," April 2014. <https://finance.detik.com/industri/2551391/ini-daerah-kaya-ikan-tuna-di-indonesia>.
- Eko Budi Djatmiko. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press, 2012.
- fishfarmsolution.com. "Net Fish Farm Solution." Accessed March 5, 2017. http://fishfarmsolution.com/wp-content/uploads/2015/02/hvalpsund-net_fish-farm-solution_unbreakable_2800x1000_r.jpg.
- Francesco Cardia, and Alessandro Lovatelli. *Aquaculture Operations in Floating HDPE Cages*, n.d.
- Goelke, Matthias. *Practical Finite Element Analysis*. Altair Univesity, 2012.
- Hafidz Bagus. "Perancangan Sistem Mooring Dan Analisa Olah Gerak Struktur Aquaculture Model Seastation Untuk Laut Lepas Indonesia." Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- Helga Gunnlaugsdottir, Sophie Jensen, and Gunnar Pordarson. "Offshore Aquaculture: Development, Building and Testing of a Deep Water Mooring System." ISSN, January 2013.
- James Ryan. *Farming The Deep Blue*. Ireland, n.d.
- Jouni Vielma, and Markus Kankainen. "Offshore Fish Farming Technology in Baltic Sea Production Conditions." Part-financed by the European Union (Baltic Sea Region), 2013.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. "Tingkat konsumsi ikan di Indonesia." Government. <http://statistik.kkp.go.id/sidatik-dev/2.php?x=8>, March 5, 2017.
- Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. "Ikan Tuna Indonesia." Ditjen PEN, June 2012.
- Khelif, Rabia, Alaa Chateauneuf, and Kamel Chaoui. "Statistical Analysis of HDPE Fatigue Lifetime," 2008.

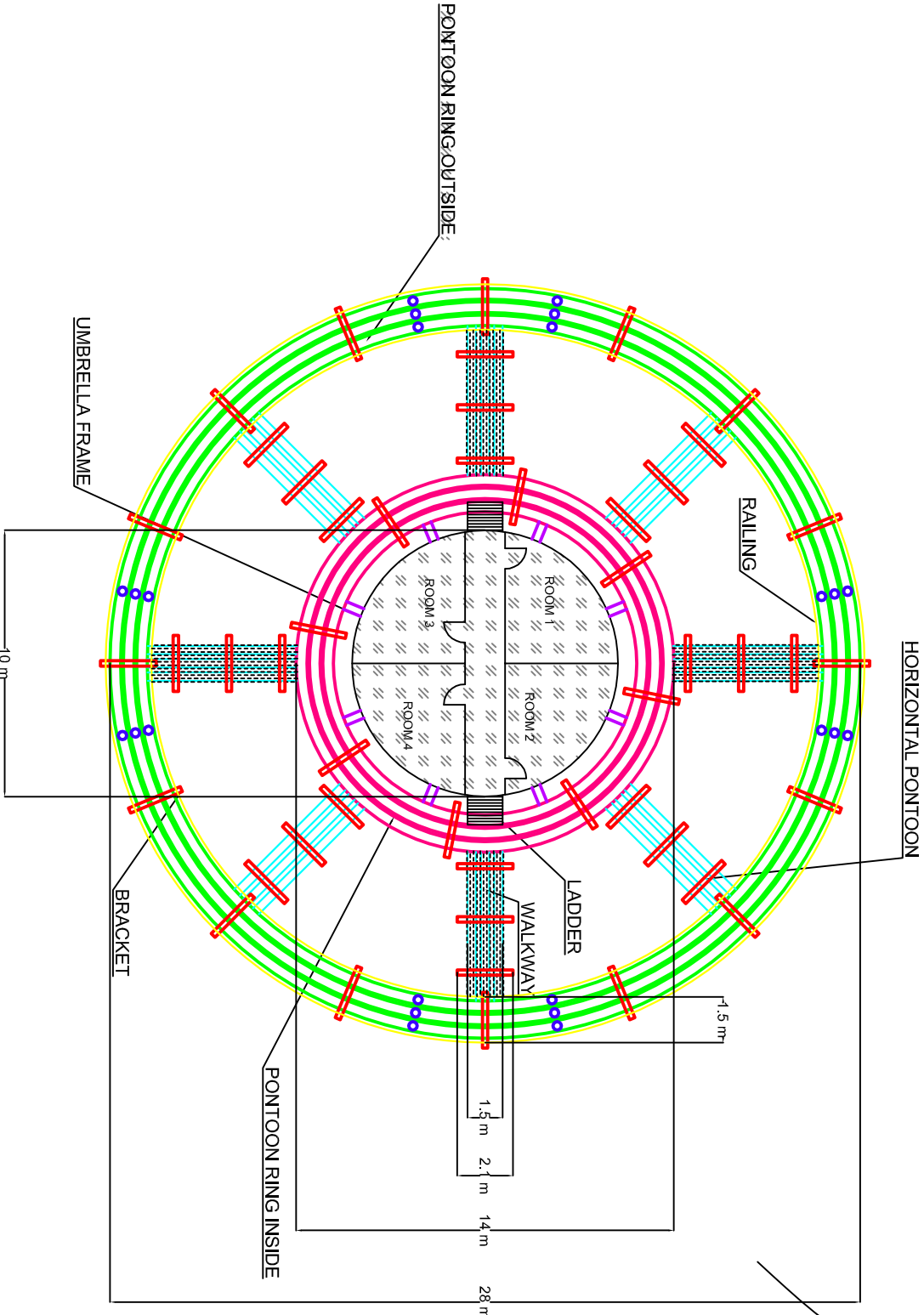
- Marhaeni Ria Siombo. *Hukum Perikanan Nasional Dan Internasional*. PT Gramedia Pustaka Utama 1, 2010.
- Marley Pipe System ltd. "HDPE Physical Property (Marley Pipe System)." Marley Pipe System, 2010.
- Ministry of Marine Affairs and Fisheries Republic of Indonesia. "KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN REPUBLIK INDONESIA." Government, n.d. kkp.go.id.
- Mordec. "Syntetic Ropes." Mordec, n.d. Accessed October 10, 2017.
- Roylance, David. "Fatigue." Department of Materials Science and Engineering Massachusetts Institute of Technology Cambridge, May 1, 2001. <http://web.mit.edu/course/3/3.11/www/modules/fatigue.pdf>.
- Subrata K. Chakrabarti. *Handbook of Offshore Engineering*. Vol. I–II. Elsevier Science Ltd., 2005.
- "WAS Aquaculture," 2009.
- worldmaritimenews.com. "Feed Fishfarm in Norway," March 5, 2017. <http://worldmaritimenews.com/wp-content/uploads/2014/03/Global-Maritime-Performs-FEED-for-Offshore-Based-Fish-Farm-in-Norway.png>.
- "//Www.Ecmwf.Int/." //www.ecmwf.int/, September 21, 2017. //www.ecmwf.int/.
- www.huonaqua.com. "Feed Barge for Aquaculture." Accessed March 6, 2017. <https://www.huonaqua.com.au/wp-content/uploads/2014/07/IMGL3450-Large-1030x515.jpg>.
- . "Feeding System Using Feed Barge." Accessed March 5, 2017. <https://www.huonaqua.com.au/wp-content/uploads/2014/04/image007.jpg>.

LAMPIRAN

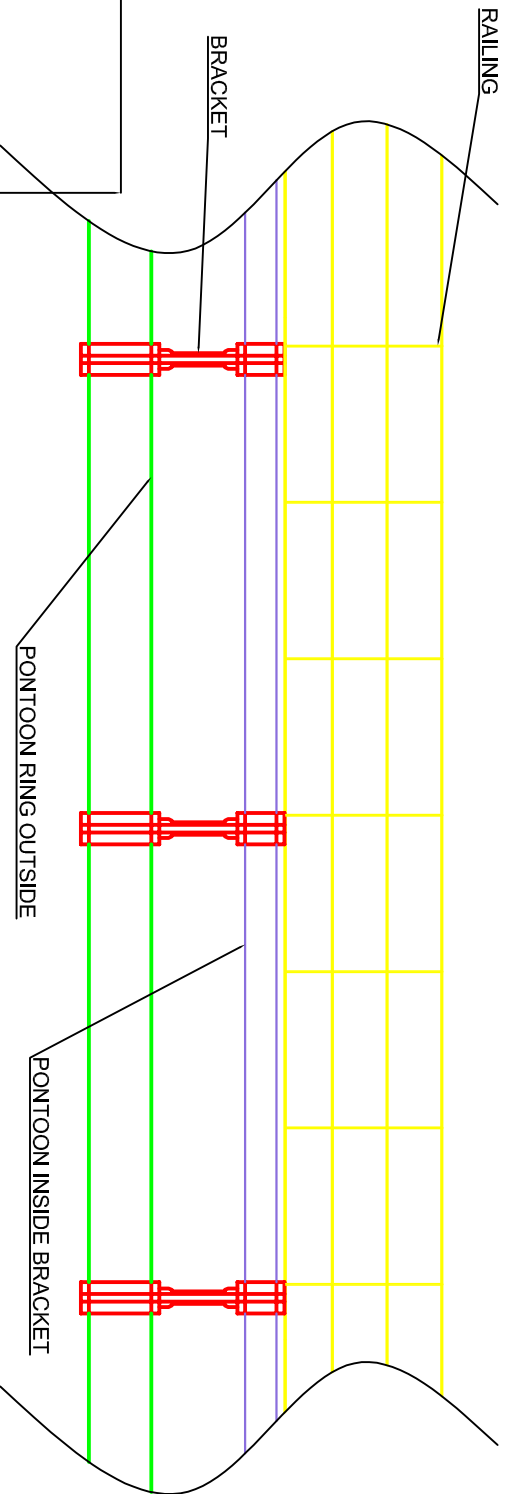
PLAN VIEW



TOP VIEW



SECTION A-A

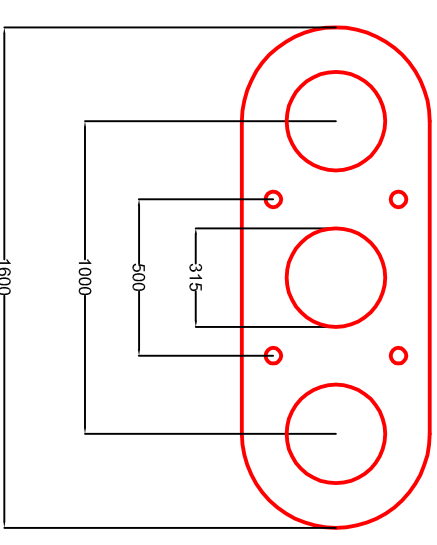
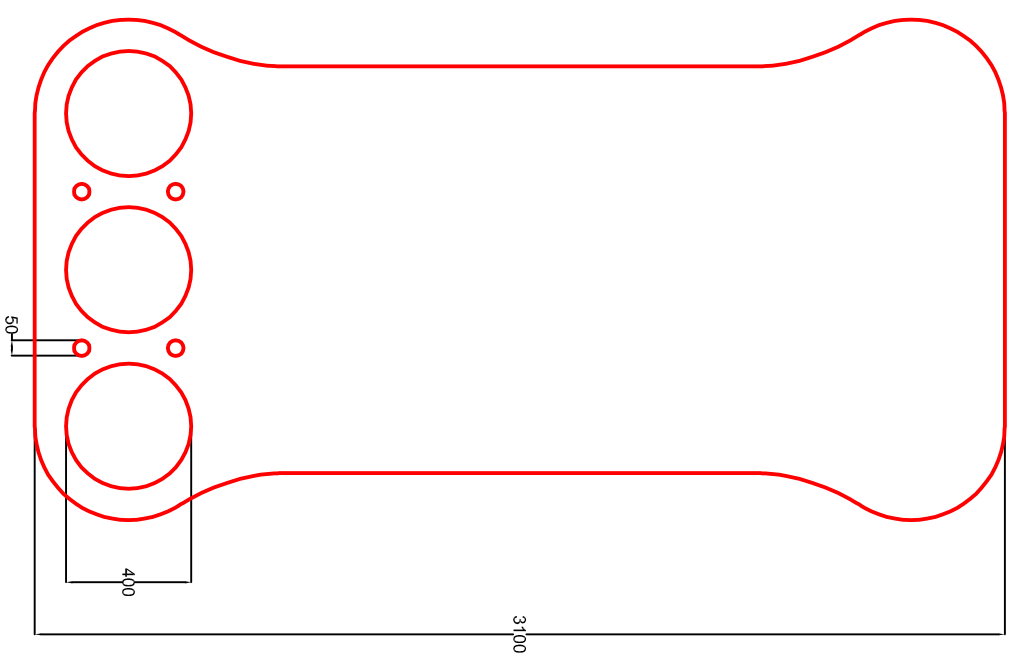
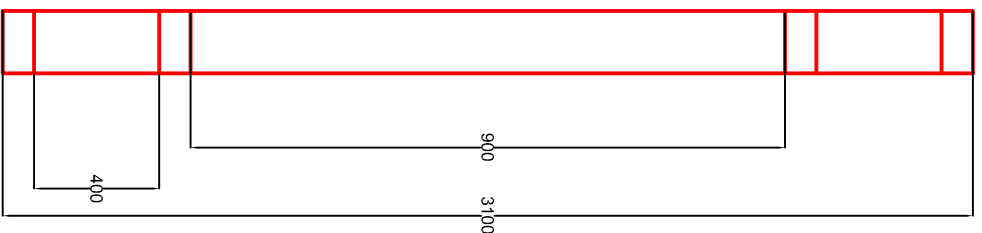
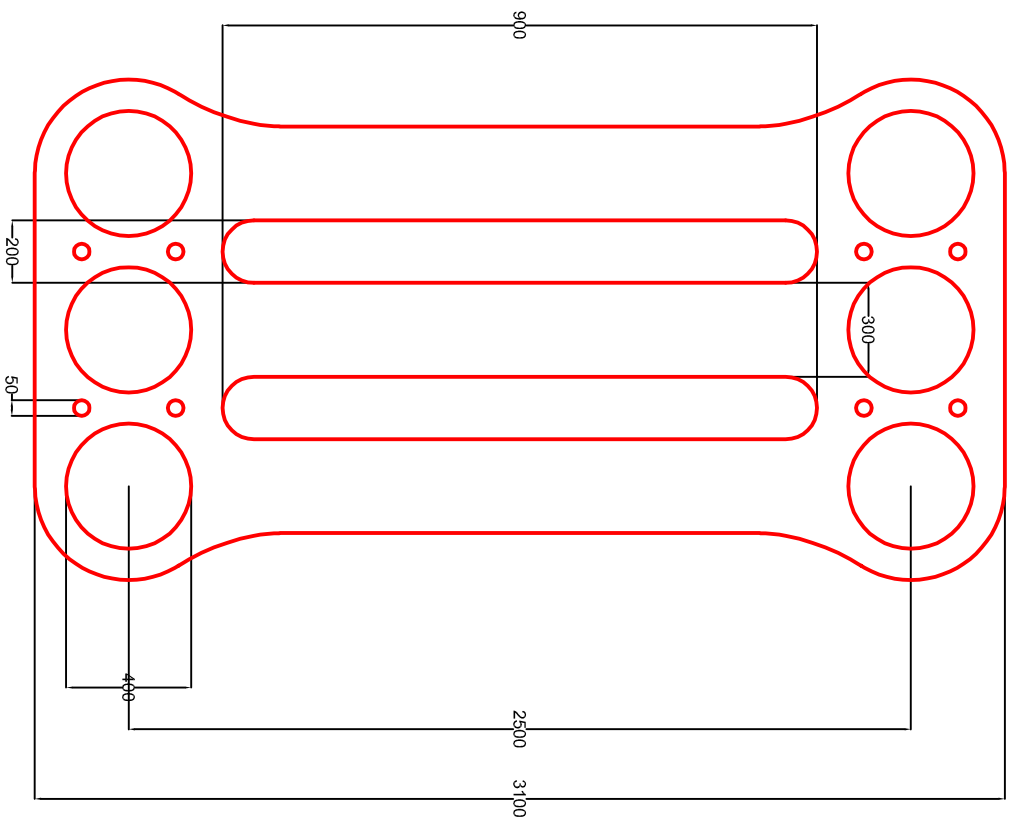


MAIN DIMENSION Ocean FarmITS

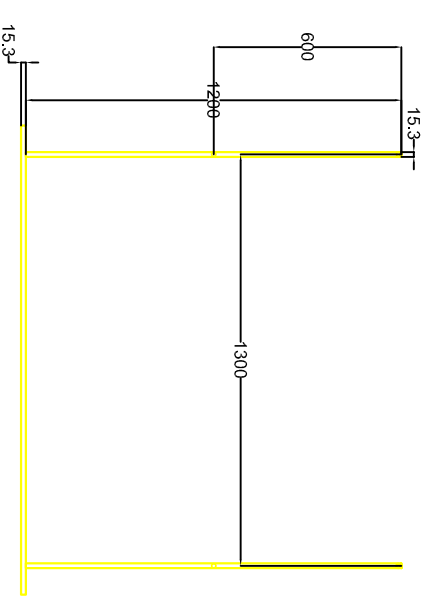
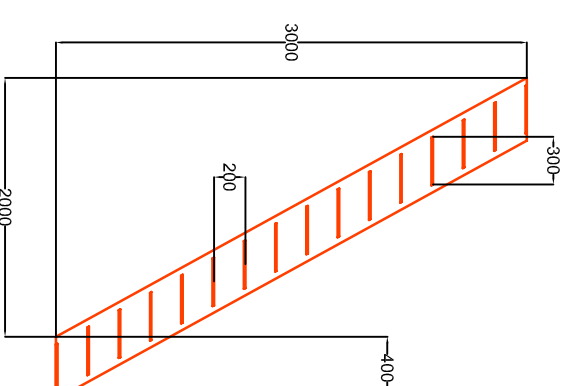
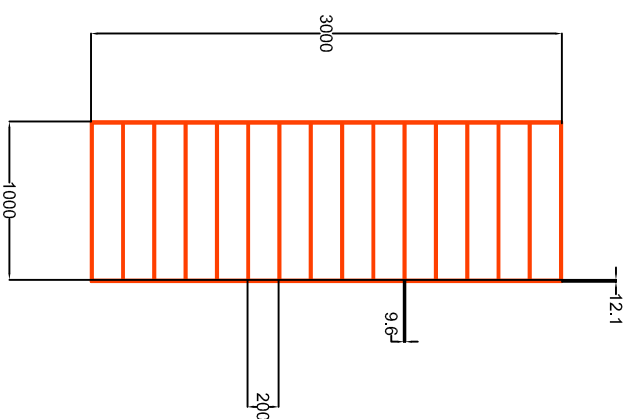
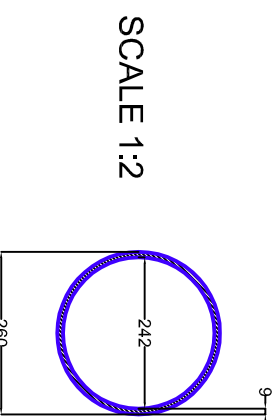
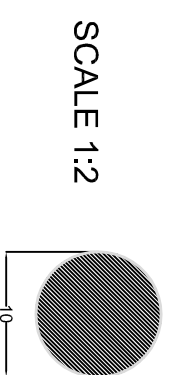
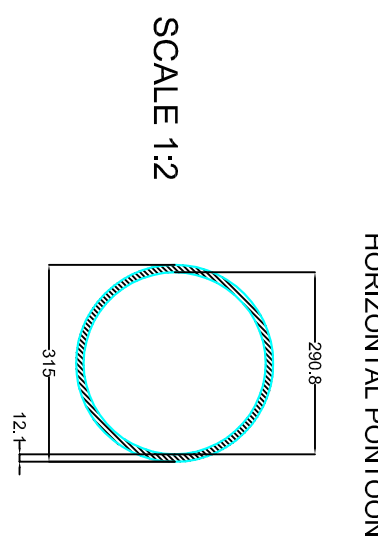
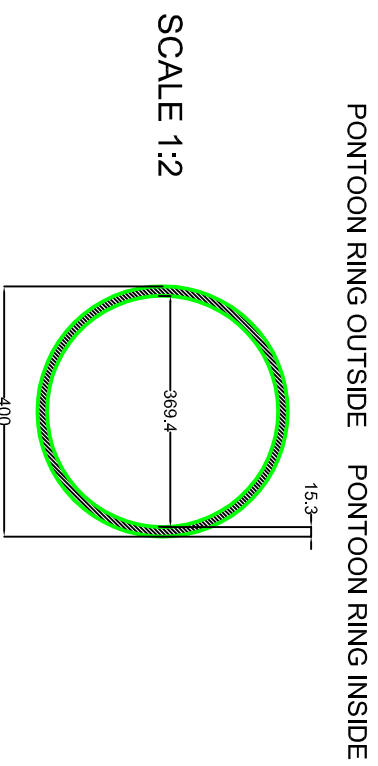
DIAMETER : 28 m
HEIGHT : 17.75 m
DEPTH : 11.5 m

DATE	-	REVISION DESCRIPTIONS		REV	BY
OWNER			CONSULTANT		
Institut Teknologi Sepuluh Nopember					
PROJECT					
THESIS - Ocean FarmITS					
DRAWINGS			SHEET NO		
			CLASS		
			-		

GENERAL ARRANGEMENT					
REMARK					
DRAWN	SIGN	DATE	DRAWING NO.	REV	
23-08-2017	MAA	-	-	-	
CHECKED	YMA NS	-	SHEET : 1 of 1	-	
APPROVED	-	-	SCALE : 1 : 250		



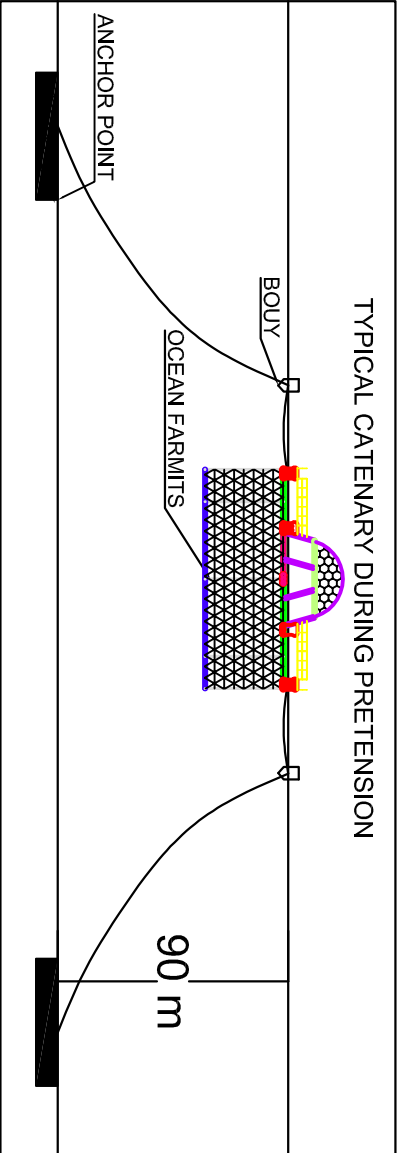
BRACKET



RAILING & WALKWAY

-	-	-	-
DATE	REVISION DESCRIPTIONS	REV	BY
OWNER		CONSULTANT	
Institut Teknologi Sepuluh Nopember			

PROJECT		THESES - Ocean FamITs		SHIPWARD	
DRAWING		DETAIL DRAWING		CLASS	
REMARK		SIGN		DATE	
DRAWN		MRA		23-08-2017	
CHECKED		YMA & NS		-	
APPROVED		-		-	
		DRAWING NO.		REV	
		-		-	
		SHEET : 1 of 1			
		SCALE : 1 : 2500			



- NOTES:
1. ALL DIMENSIONS ARE IN METERS, UNLESS OTHERWISE STATED.
 2. ASSUMED WATER DEPTH IS 90 m.
 3. EACH MOORING LINES ARE APPROX. NYLON DIA 120 mm, 109 m LENGTH.

DIAMETER	: 28 mm
HEIGHT	: 17,75 mm
DEPTH	: 10,5mm

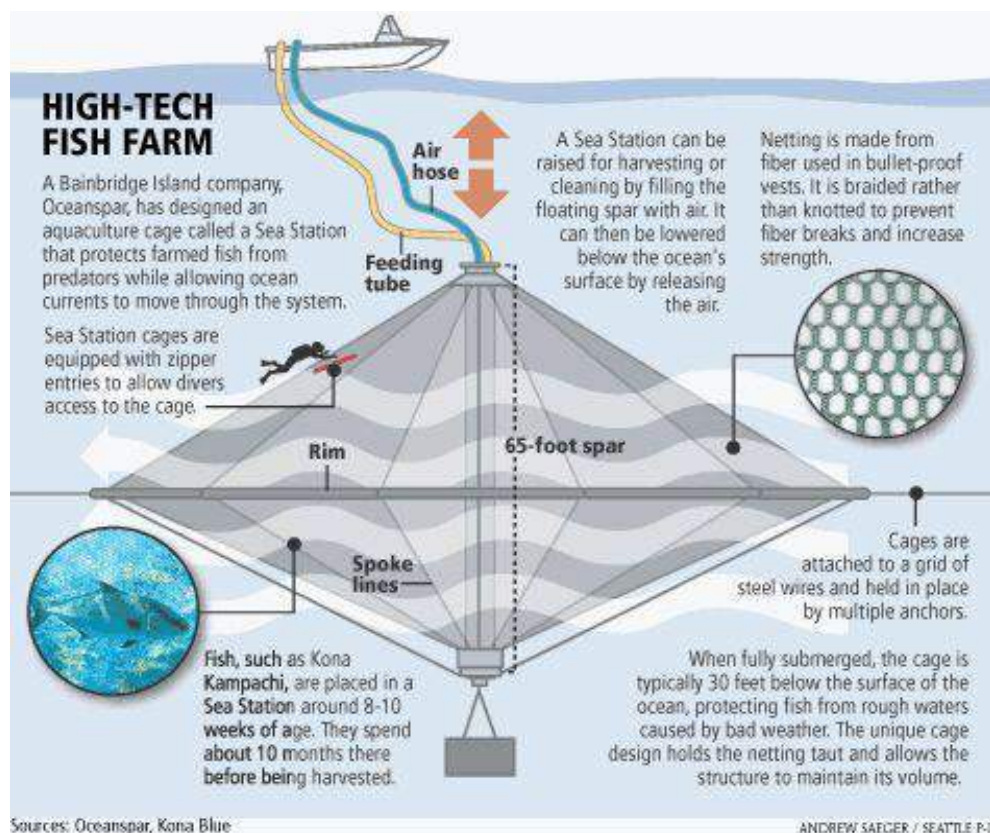
OWNER	DATE	REVISION DESCRIPTIONS	REV	BY	CONSULTANT
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember					

DRAWING				SHIPYARD	
DETAIL DRAWING				-	
				CLASS	
DRAWING NO.				-	
REMARK		SIGN	DATE	REV	
DRAWN		MDA	23-08-2017	-	
CHECKED		YMA NS	-	-	
APPROVED		-	-	-	
SCALE		NTS			

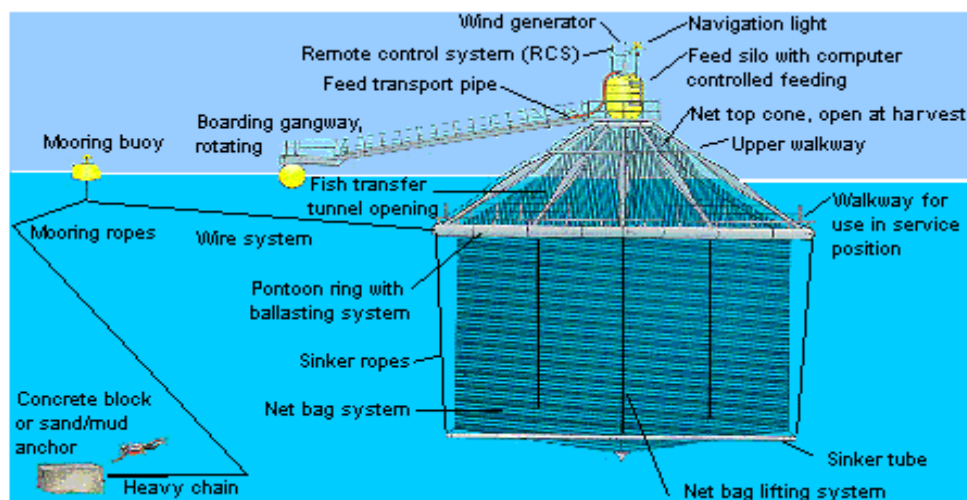
DRAWING AND 3D SKETCH OFFSHORE CAGE AQUACULTURE

Illustration image from literature

Sea Station

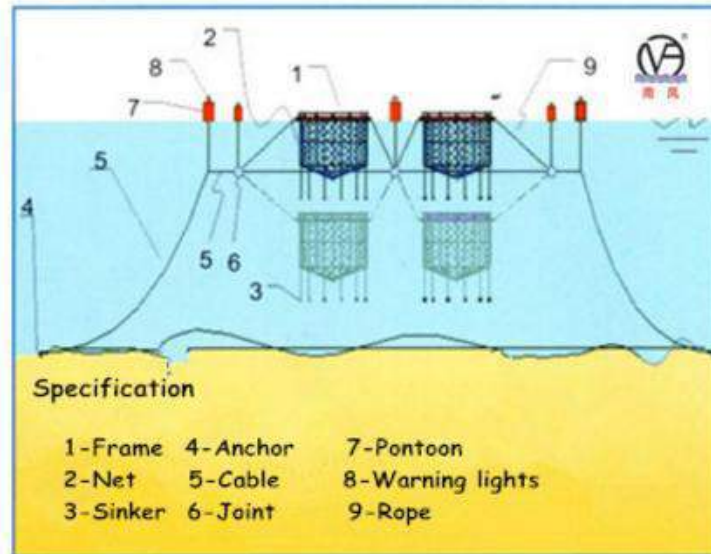


Farm Ocean



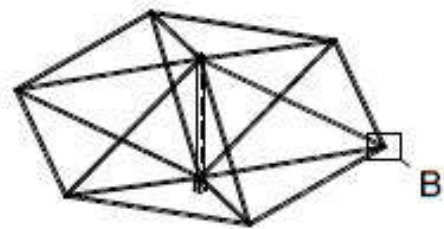
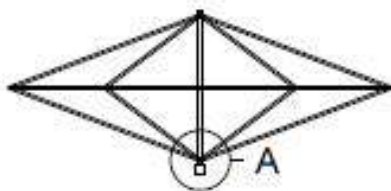
Collar Cage

The sketch of the structure



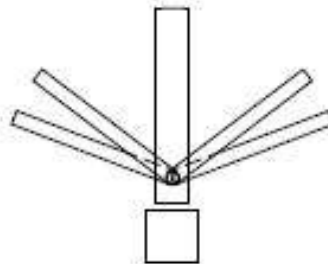
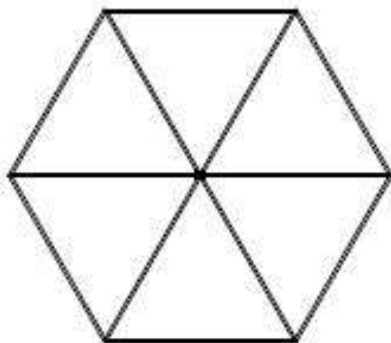
Sketch

Sea Station

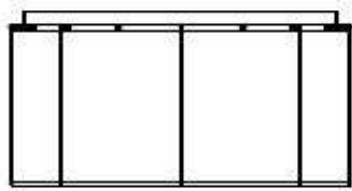


A (1:100)

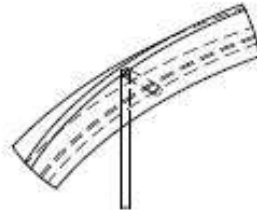
B (1:100)



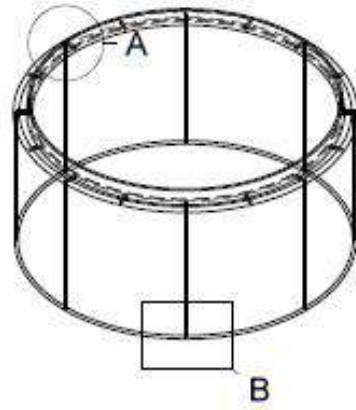
Collar Cage



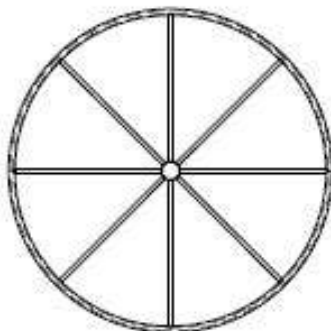
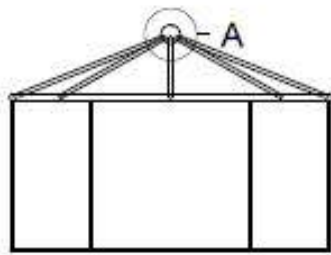
A (1:100)



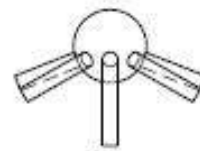
B (1:100)



Farm Ocean



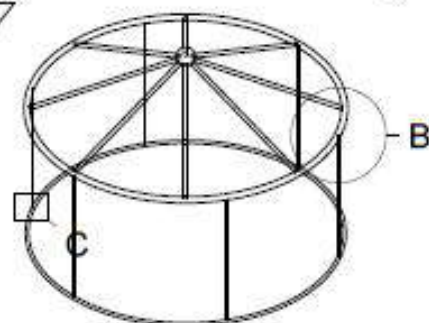
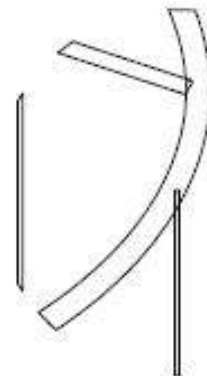
A (1:100)



C (1:100)



B (1:100)



PERHITUNGAN

HDPE Pipe spesification

HDPE based on Indopipe.com			in mm		
<i>Outer Dia</i>	<i>Wall thickness</i>	<i>Inner Dia</i>	<i>Outer Dia</i>	<i>Wall thickness</i>	<i>Inner Dia</i>
20	-	-	200	7,7	184,5
25	-	-	225	8,6	207,7
32	-	-	250	9,6	230,7
40	1,6	36,7	280	10,7	258,6
50	2	s	315	12,1	290,7
63	2,4	58	400	15,3	369,3
75	2,9	69,1	450	17,2	415,5
90	3,5	82,8	500	19,1	461,7
110	4,3	101,2	630	24,1	581
140	5,4	129,1	710	27,2	655,6
160	6,2	147,5	800	30,6	738,8
180	6,9	166,2	900	34,4	831,65
			1000	38,2	924,1

Net Spesification

Short Description: XB1133 Black Polyethylene Mesh
SKU: XB1133-48
Color: Black
Hole Size (in): 1.25 x 1.25
Roll Width (in): 48
Roll Length (ft): 500
Thickness (in): 0.14
PMSF (lbs/1000 sq ft): 120
Resin (material): Polyethylene
Resin Grade: FDA Non-Compliant



Ocean-FarmITS design

Item	Type	Qty	length	diameter	thickness	bouyancy	weight
	Material	(unit)	(m)	(m)	(m)	ton	ton
Sinker tube	steel	1	88,000	0,260	0,009		5,0803
Sinker rope (steel wire)	steel	8	10,000	0,016	0,016		0,1263
Pontoon ring 1 (outside)	HDPE	1	88,000	0,400	0,015	11,339	1,6215
Pontoon ring 2 (outside)	HDPE	1	84,857	0,400	0,015	10,934	1,5636
Pontoon ring 3 (outside)	HDPE	1	81,714	0,400	0,015	10,529	1,5057
Pontoon ring 1 (inside)	HDPE	1	44,000	0,400	0,015	5,670	0,8108
Pontoon ring 2 (inside)	HDPE	1	40,857	0,400	0,015	5,265	0,7529
Pontoon ring 3 (inside)	HDPE	1	37,714	0,400	0,015	4,860	0,6949
Pontoon in bracket 1	HDPE	1	88,000	0,315	0,012	-	1,0099
Pontoon in bracket 2	HDPE	1	84,857	0,315	0,012	-	0,9738
Pontoon in bracket 3	HDPE	1	81,714	0,315	0,012	-	0,9377
Vertical pontoon	HDPE	24	2,500	0,315	0,012	2,877	0,6886
Horizontal pontoon	HDPE	24	7,000	0,315	0,012	13,425	1,9279
Umbrella frame	HDPE	8	4,123	0,315	0,008	-	0,2409
Upper pontoon ring	HDPE	1	15,714	0,400	0,010	-	0,1817
Net bag bottom (31.75mm)	PE	1	88,000	0,004	0,004		0,3978
Net bag middle (31.75mm)	PE	1	88,000	0,004	0,004		0,5683
Net bag top (31.75mm)	PE	1	88,000	0,004	0,004		0,4973
Circular walkway	HDPE	1	88,000	-	0,015	-	1,7413
Circular walkway inside	HDPE	1	44,000	-	0,015	-	0,8706
Circular on top	HDPE	1	31,429	-	0,015	-	0,5528
Walkway to center	HDPE	4	4,000	-	0,015	-	0,3166
Lower bracket	HDPE	40	-	-	0,200	-	2,2183
Upper bracket	HDPE	40	-	-	0,200	-	1,9358
Pillar bracket	HDPE	40	-	-	0,200	-	1,5277
Bracket Plate	HDPE	40	-	-	0,024	-	0,6068
Ladder	HDPE	2	-	-	0,015	-	0,1900
Feeding system	NA	1	-	-	-	-	3,0000
Railing	HDPE	232	1,200	0,015	0,015	-	3,1217
live load (person)	NA	20	0,100	-	-	-	2,0000
Outfitting	NA	1					12,0000
Dome	HDPE	1			0,020		8,6713
Ballast in sinker tube	Sea water	1	-	-	-	-	4,1505
					Total	64,900	62,483

Titik berat Ocean-FarmITS

Item	VCG (m)	VCG x w (ton m)	VCB	VCB x B (m ³)
Sinker tube	-10,000	-50,803		
Sinker rope (steel wire)	-5,000	-0,632		
Pontoon ring 1 (outside)	0,001	0,002	0,001	0,011
Pontoon ring 2 (outside)	0,001	0,002	0,001	0,011
Pontoon ring 3 (outside)	0,001	0,002	0,001	0,011
Pontoon ring 1 (inside)	0,001	0,001	0,001	0,006
Pontoon ring 2 (inside)	0,001	0,001	0,001	0,005
Pontoon ring 3 (inside)	0,001	0,001	0,001	0,005
Pontoon in bracket 1	2,500	2,525		
Pontoon in bracket 2	2,500	2,435		
Pontoon in bracket 3	2,500	2,344		
Vertical pontoon	1,250	0,861	0,250	0,719
Horizontal pontoon	0,001	0,002	0,001	0,013
Umbrella frame	2,000	0,482		
Upper pontoon ring	2,500	0,454		
Net bag bottom (31.75mm)	-10,600	-4,217		
Net bag middle (31.75mm)	-5,000	-2,842		
Net bag top (31.75mm)	-0,500	-0,249		
Circular walkway	2,500	4,353		
Circular walkway inside	2,500	2,177		
Circular on top	4,000	2,211		
Walkway to center	2,500	0,791		
Lower bracket	0,200	0,444		
Upper bracket	1,75	3,388		
Pillar bracket	1,250	1,910		
Bracket Plate	1,000	0,607		
Ladder	2,500	0,475		
Feeding system	4,200	12,600		
Railing	2,200	6,868		
live load (person)	4,000	8,000		
Outfitting	3	36,000		
Dome	4	34,685		
Ballast in sinker tube	-10	-41,505		
	W total	23,370	B Total	0,781
	VCG total	0,374	VCB total	0,013

Farm Ocean design

Data input:

Diameter Cage =	25 m	ensity of sea water=	1,025 ton/m ³
Depth =	12 m	HDPE density =	0,958 ton/m ³
Volume cage -	5892,8571 m ³	phi=	3,142857
Volume cone =	188,57143 m ³	Steel density=	7,85 ton/m ³
Volume unsubmerged =	52,380952 m ³	Height =	17
Volume cone submerged	136,19048 m ³		
Volume cage total =	6029,0476 m ³		

List item from bottom to top

	Type	Qty	length	diameter	thickness	bouyancy	weight
	Material	(unit)	(m)	(m)	(m)	ton	ton
Sinker tube	steel	1	78,571	0,260	0,009	0,592	4,536
Sinker rope	Steel	6	10,000	0,225	0,009	11,119	10,393
Pontoon ring	HDPE	1	78,571	0,500	0,019	15,820	2,259
Umbrella frame	HDPE	8	11,705	0,315	0,012	7,483	1,075
Net bag bottom (31.75mm)	PE	1	78,571	0,004	0,004	0,495	0,317
Net bag middle (31.75mm)	PE	1	78,571	0,004	0,004	0,792	0,507
Net bag top (31.75mm)	PE	1	78,571	0,004	0,004	0,950	0,444
Walkway	HDPE	1	78,571	0,009	0,009	0,362	0,339
Feeding system	NA	1	-	-	-	-	2,000
live load and other cons	HDPE	1	-	-	-	-	6,000
Ballast in sinker tube	Sea water	1	-	-	-	-	3,706
					Total	37,614	27,870

Titik berat Farm Ocean

Item	VCG (m)	VCG x w (ton m)	VCB	VCB x B (m ³)
Sinker tube	0,130	0,590	0,130	0,076996745
Sinker rope (HDPE)	6,000	62,356	6,000	66,71651786
Pontoon ring (outside)	12,250	27,675	12,250	193,7890625
Umbrella frame	14,500	15,581	14,000	104,7581761
Net bag bottom (31.75mm)	0,065	0,021		
Net bag middle (31.75mm)	6,000	3,045		
Net bag top (31.75mm)	16,500	7,326		
Walkway	10,500	3,557		
Feeding system	17,300	34,600		
live load and other cons	15,700	94,200		
Ballast in sinker tube	0,130	0,482		
	W total	249,432	B total	365,3407532
	VCG total	8,950	VCB total	10,43415013

Sea Station design

Data input:

Diameter Cage = 42 m
 Depth = 16 m
 Volume cage = 7392 m³
 Volume unsubmerged = 1049,7515 m³
 Volume draft = 6342,2485 m³
 Density of sea water = 1,025 ton/m³
 HDPE density = 0,958 ton/m³
 phi = 3,142857
 Steel density = 7,85 ton/m³

List item from bottom to top

	Type	Qty	length	diameter	thickness	bouyancy	weight
	Material	(unit)	(m)	(m)	(m)	ton	ton
Single central vertical tube	HDPE	1	16,000	0,630	0,024	5,114	0,731
Ring tube	HDPE	1	132,000	0,315	0,012	10,548	1,515
Pyramid Frame	HDPE	12	22,472	0,280	0,011	17,027	2,433
Net bag bottom (31.75mm)	PE	1	22,472	0,004	0,004	1,397	0,895
Net bag top (31.75mm)	PE	1	-	0,004	0,004	1,397	0,895
Feeding system	NA	1	-	0,004	0,004	1,397	4,000
live load and other cons	HDPE	1	-	-	-	-	6,000
Weighting block	NA	1					5,000
					Total	36,881	21,469

Titik berat sea station

Item	VCG (m)	VCG x w (ton m)	VCB	VCB x B (m ³)
Single central vertical tube	8,000	5,851	8,000	40,91472
Ring tube	8,000	12,119	8,000	84,38661
Pyramid Frame	8,000	19,460	6,000	102,160442
Net bag bottom (31.75mm)	5,333	4,774		
Net bag top (31.75mm)	10,667	9,548		
Feeding system	8,000	32,000		
live load and other cons	8,000	48,000		
Weighting block	-1,000	-5,000		
	W total	126,752	B total	227,461772
	VCG total	5,904	VCB total	6,958271678

Collar Cage design

Data input:

Diameter Cage = 26 m nsity of sea water= 1,025 ton/m³
 Depth = 12 m HDPE density = 0,958 ton/m³
 Volume cage- 6373,7143 m³ phi= 3,142857143
 Steel density= 7,85 ton/m³

List item from bottom to top

	Type	Qty	length	diameter	thickness	bouyancy	weight
	Material	(unit)	(m)	(m)	(m)	ton	ton
Sinker tube	steel	1	81,714	0,260	0,009	0,589	4,508
Sinker rope	Steel	8	12,000	0,225	0,009	17,791	0,559
Pontoon ring (outside)	HDPE	1	81,714	0,450	0,017	13,326	1,904
Pontoon ring (inside)	HDPE	1	75,429	0,450	0,017	12,301	1,758
Net bag bottom (31.75mm)	PE	1	81,714	0,004	0,004	0,535	0,343
Net bag middle (31.75mm)	PE	1	81,714	0,004	0,004	0,824	0,528
Walkway	steel	1	81,714	0,006	0,006	0,226	3,464
Feeding system	NA	1	-	-	-	-	2,000
live load and other cons	HDPE	1	-	-	-	-	6,000
Ballast in sinker tube	Sea water	1	-	-	-	-	3,880
					Total	45,593	21,064

Titik berat collar cage

Item	VCG (m)	VCG x w (ton m)	VCB	VCB x B (m ³)
Sinker tube	0,130	0,586	0,130	0,076517654
Sinker rope (HDPE)	6,000	3,356	6,000	106,7464286
Pontoon ring (outside)	10,225	19,471	10,225	136,2620279
Pontoon ring (inside)	10,225	17,973	10,225	125,7803334
Net bag bottom (31.75mm)	0,065	0,022		
Net bag middle (31.75mm)	6,000	3,166		
Walkway	10,450	36,197		
Feeding system	14,300	28,600		
live load and other cons	10,700	64,200		
Ballast in sinker tube	0,130	0,504		
	W total	174,077	B total	368,8653075
	VCG total	8,264	VCB total	8,381914939

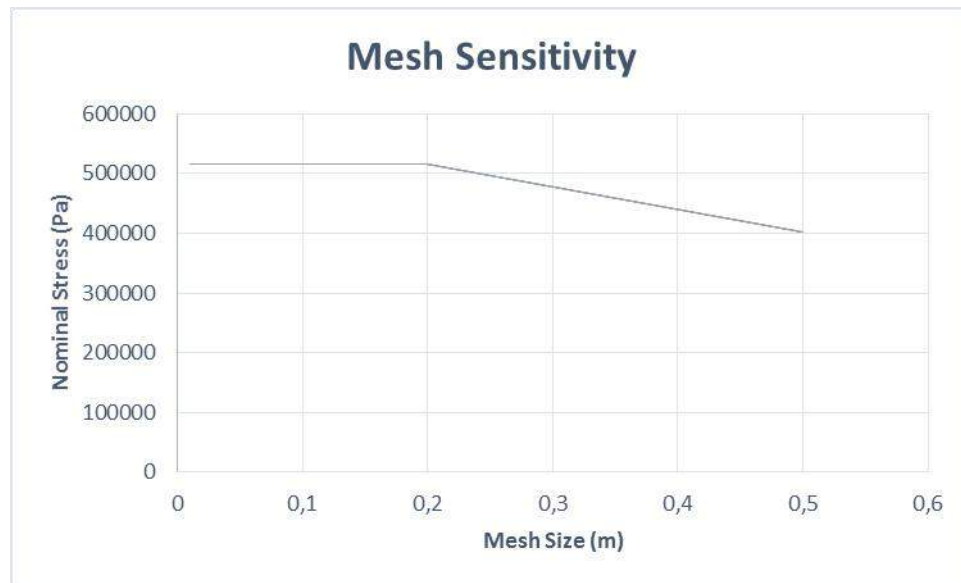
Bouy and mooring coordinate

Bouy coordinate			Moor anchor fixed point		
x	20		x	20	30
y	20		y	30	30
			z	-90	-90
x	20		x	20	30
y	-20		y	-30	-30
			z	-90	-90
x	-20		x	-20	-30
y	20		y	30	20
			z	-90	-90
x	-20		x	-20	-30
y	-20		y	-30	-20
			z	-90	-90

Global x,y,z (0,0,0) in center of structure				
Coordinate (m)	Farm ocean	Ocean farmits	Sea station	Collar cage
x	10.825	12.125	15,75	12,258
y	6,25	7	9,09	6,5
x	6,25	7	10,5	6,5
y	10,825	12.125	18,186	12,258
x	10.825	12.125	15,75	12,258
y	-6,25	-7	-9,09	-6,5
x	6,25	7	10,5	6,5
y	-10,825	-12.125	-18,186	-12,258
x	-10.825	-12.125	-15,75	-12,258
y	-6,25	-7	-9,09	-6,5
x	-6,25	-7	-10,5	-6,5
y	-10,825	-12.125	-18,186	-12,258
x	-10.825	-12.125	-15,75	-12,258
y	6,25	7	9,09	6,5
x	-6,25	-7	-10,5	-6,5
y	10,825	12.125	18,186	12,258

Mesh Sensitivity

Mesh sizing (m)	Nodes	Element	Nominal Stress
0,01	423045	172132	516396
0,05	394212	169514	516390
0,1	370371	151206	516381
0,2	325612	132457	516200
0,5	246315	102126	401231

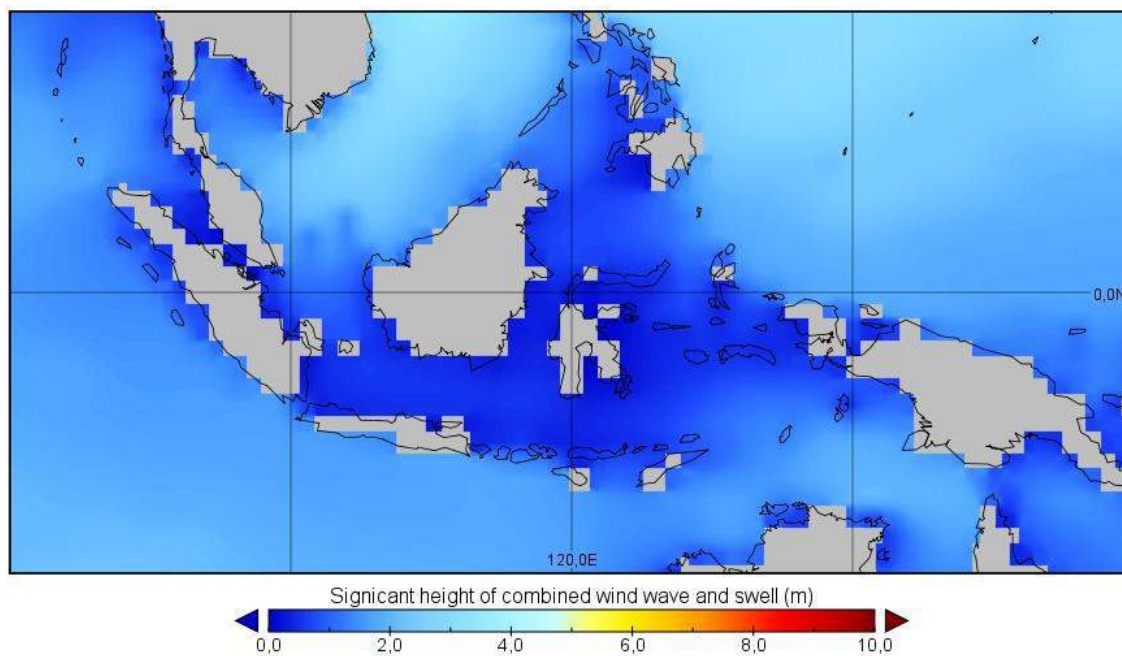


Fatigue offshore aquaculture

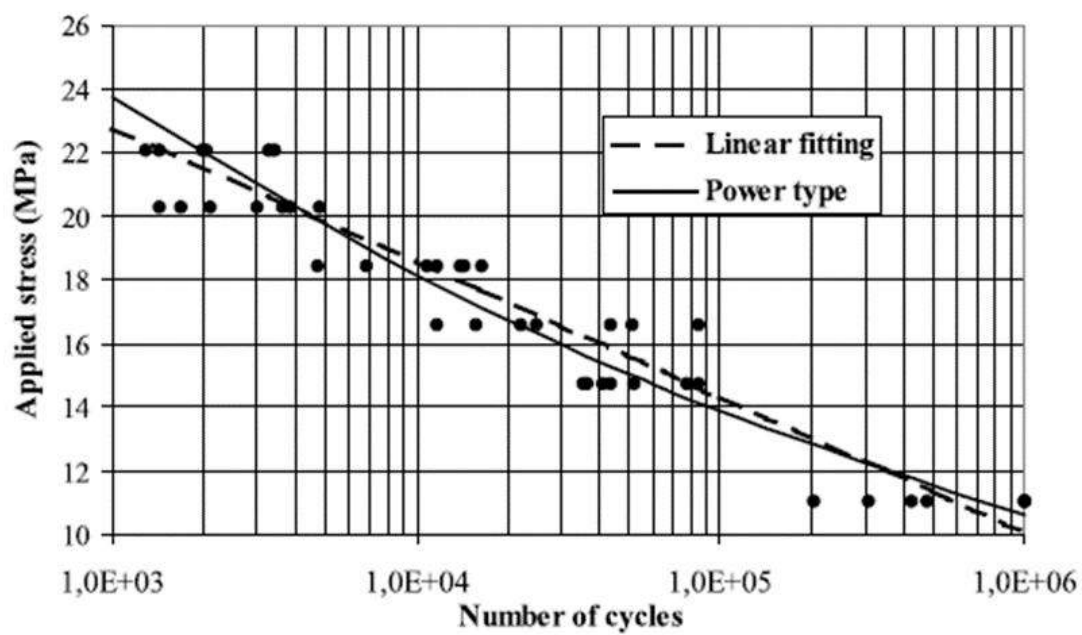
Data sebaran gelombang 10 tahunan emcwf

H (m)	T (sec)										Total
	5,75-7,8	14,74-16,39	11,61-12,45	12,46-13,46	9,29-10,02	10,8-11,6	8,57-9,28	7,81-8,56	10,03-10,79	13,47-14,7	
0,92-1,64	261	0	56	6	1278	273	984	512	946	0	4316
1,65-2,03	204	0	419	85	1901	1246	1339	686	1087	7	6974
2,04-2,45	113	2	753	264	1697	1522	1359	682	1715	32	8139
2,46-2,89	52	4	658	318	1206	957	785	301	1110	72	5463
2,9-3,38	2	10	474	280	480	626	220	60	473	95	2720
3,39-4,03	0	15	131	112	51	105	23	7	49	111	604

Data gelombang ECMWF



SN Curve HDPE (Linear fitting method)



PROFIL PENULIS



Muhammad Rino Athoillah merupakan anak kelima dari lima bersaudara yang lahir di Tangerang pada 31 Maret 1993, menyelesaikan pendidikan S-1 sebagai Sarjana Departemen Teknik Perkapalan dan S-2 Departemen Teknik Kelautan prodi Teknik Perancangan Bangunan Laut di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis bersekolah di Tangerang mulai dari jenjang Taman Kanak-Kanak hingga Sekolah Menengah Atas. Pada tahun 2005 penulis bersekolah di SMPN 2 Tangerang dan menghabiskan 3 tahun kuliah untuk belajar disana, di tahun 2008 penulis melanjutkan masa sekolahnya ke SMAN 1 Tangerang dimana penulis belajar dan banyak menghabiskan waktunya untuk mengikuti kegiatan Ekstrakurikuler dibidang olahraga serta menjadi anggota English Club disekolah tersebut.

Semasa mengenyam pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang dimulai pada tahun 2011, penulis mengikuti pelatihan LKMM Pra-TD dan LKMM TD dikampus tersebut yang diadakan oleh BEM Fakultas Teknologi Kelautan serta Jurusan Teknik Perkapalan untuk mengembangkan kemampuan penulis dalam berorganisasi, bersosialisasi serta memunculkan pola pikir yang maju. Selain itu penulis juga ikut aktif dalam acara Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN) mulai dari anggota panitia SAMPAN 6, anggota panitia untuk SAMPAN 7 dan Steering Committee untuk SAMPAN 8. Pada periode 2013-2014 penulis juga menjabat sebagai Kepala Departemen Hubungan Luar di Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan. Penulis juga sering mengikuti seminar-seminar yang diadakan oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember, salah satunya adalah Basic Petroleum Training pada April 2013. Selama periode 2013 sampai 2014 penulis juga menjadi ketua panitia seminar untuk ClassNK yang menjalin kerjasama dengan Fakultas Teknologi Kelautan dan dilaksanakan tiap bulannya.

Dipertengahan tahun 2014 penulis melaksanakan kerja praktek selama 2 bulan, untuk bulan pertama di Waruna Nusa Sentana Shipyard yang berada di Belawan, Medan. Serta sebulan berikutnya di American Bureau of Shipping (ABS) Batam Port. Selain itu penulis bekerja selama dua tahun mulai dari tahun 2015 sampai 2017 di PT Cenmars Indonesia (Maritime Consultant) sebagai Junior Engineer. Melalui Tugas Akhir yang berjudul “Desain *Urea Carrier* Berbahan *Reinforced Concrete* Untuk Distribusi Pupuk Di Sumatera” dan Thesis yang berjudul “*Konsep*

Inovasi Desain Aquaculture System Untuk Ikan Tuna Di Laut Indonesia” mengantarkannya menjadi Master Teknik Kelautan ITS pada tahun 2018.

“if you would not be forgotten as soon as you are dead and rotten, either write something worth reading or do things worth the writing”

muhammadrinoathoillah@gmail.com

muhammadrinoathoillah@yahoo.com

(+6281938288785)